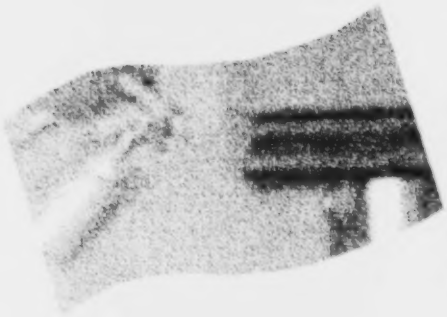
ÉTUDES ET RECHERCHES

Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde

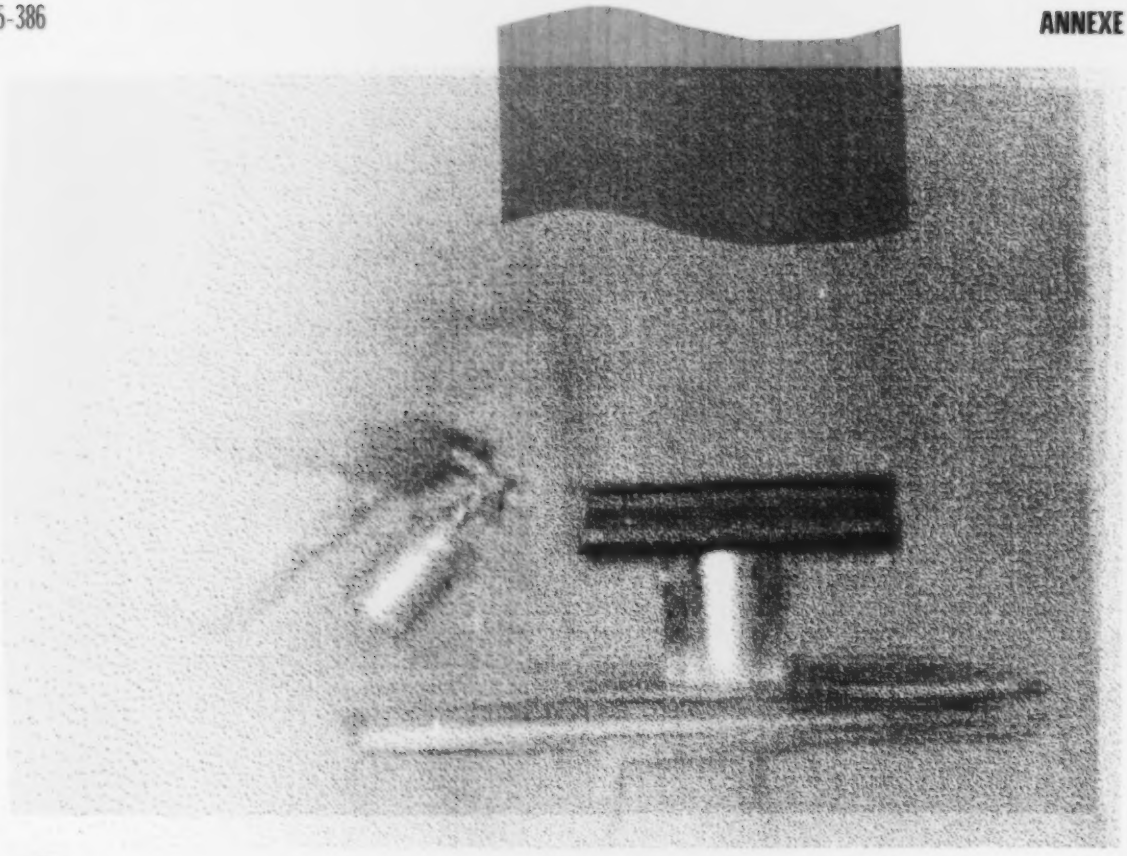
Industrie de la fabrication de meubles en bois



Nicole Goyer
Denis Bégin
Michèle Bouchard
Sophie Buissonnet
Gaétan Carrier
Olivia Gely
Michel Gérin
Jérôme Lavoue
Pierre Lefebvre
Nolwenn Noisel
Guy Perrault
Brigitte Roberge

RA5-386

ANNEXE



irsst

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES *travaillent* pour vous !

MISSION

- Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2004

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

• Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, novembre 2004

105-06316/

ÉTUDES ET RECHERCHES

Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde

Industrie de la fabrication de meubles en bois

Nicole Goyer[1], Denis Begin[2], Michèle Bouchard[2], Sophie Buissonnet[1], Gaétan Carrier[2], Olivia Gely[3], Michel Gérin[2], Jérôme Lavoué[2], Pierre Lefebvre[3], Nolwenn Noisel[2], Guy Perrault[1] et Brigitte Roberge[1]

[1]Hygiène du travail, IRSST
[2]Santé environnementale et santé au travail, Université de Montréal
[3]Sciences économiques, Université du Québec à Montréal

ANNEXE

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

Cette publication est disponible en version PDF sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

REMERCIEMENTS

Ce projet n'aurait pu être réalisé sans la collaboration de nombreuses personnes.

Nous remercions très sincèrement les gestionnaires, le personnel technique et les travailleurs des établissements pour leur accueil, la qualité de l'information fournie et leur participation active et efficace lors des mesures sur le terrain. De même, nos remerciements s'adressent aux différents experts qui ont permis de mieux comprendre la réalité québécoise. Nous remercions également monsieur Raymond Thériault, directeur santé, sécurité et environnement de l'association des fabricants de meubles du Québec inc. pour sa participation active au comité technique du projet.

Nous tenons également à remercier les intervenants du réseau public québécois en santé au travail pour leur aide précieuse, leur disponibilité et leur professionnalisme lors des sessions d'échantillonnage.

LISTE DES ACRONYMES, SYMBOLES OU ABBRÉVIATIONS

CAEQ : classification des activités économiques du Québec
CLSC : Centre local de services communautaires
CRIQ : Centre de recherche industrielle du Québec
CSST : Commission de la santé et de la sécurité au travail du Québec
CTI : classification type des industries
IRSST : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité du travail du Québec
mg /m^3 : milligramme par mètre cube d'air
OSHA : Occupational Safety and Health Administration
P : valeur d'exposition plafond
ppm = partie par million
SCIAN : système de classification des industries de l'Amérique du Nord
StatCan : Statistique Canada
VEA : valeur d'exposition admissible
VEMP : valeur d'exposition moyenne pondérée sur 8 heures

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS 1
1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE LA RECHERCHE 4
2. DESCRIPTION DU SECTEUR 4
3. DESCRIPTION DES PROCÉDÉS 5
4. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS : DONNÉES DE LITTÉRATURE 8
4.1 Littérature 8
4.2 Données d'exposition de IMIS 10
4.3 Données d'exposition de NEDB 11
4.4 Déterminants de l'exposition 12
5. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS : MESURES SUR LE TERRAIN PAR L'IRSST 12
6. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS : AUTRES MESURES SUR LE TERRAIN 18
7. MATRICES D'EXPOSITION 19
7.1 Discussion concernant les données de la littérature et celles de l'équipe terrain 19
7.2 Élaboration des matrices 20
8. SOURCES D'EXPOSITION 23
9. CORRECTIFS ET PRÉVENTION 24
9.1 Substitution du formaldéhyde 24
9.2 Organisation du travail et ventilation 25
9.3 Équipements de protection individuelle 25
10. IMPACTS SUR LA SANTÉ 26
10.1 Établissement de la relation entre l'exposition et les effets sur la santé 26
10.2 Application de la relation au secteur de la fabrication des meubles 28
11. IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES 30
11.1 Coûts potentiels 30
11.1.1 Substitution ou modification des procédés 30
11.1.2 Organisation du travail 30
11.1.3 Ventilation 30
11.1.4 Protection respiratoire 32
11.2 Avantages potentiels 34
11.3 Détermination d'un seuil d'impact majeur 34
12. CONCLUSIONS 36
13. RÉFÉRENCES 38
APPENDICE 1 : Liste des collaborateurs du réseau public de santé au travail dans le cadre des visites en entreprise 41
APPENDICE 2 : Estimé des coûts de ventilation 42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Catégorisation principale de l'industrie du meuble selon trois systèmes de classification d'activité économique en usage en Amérique du Nord 5
Tableau 2 : Étapes de production de meubles 7
Tableau 3 : Données d'exposition dans le secteur de la fabrication des meubles 8
Tableau 4 : Niveaux de formaldéhyde sur 8h dans la zone respiratoire des peintres dans la fabrication de meubles en bois aux États-Unis (OSHA - IMIS) 11
Tableau 5 : Niveaux de formaldéhyde sur 8h dans la zone respiratoire des peintres dans la fabrication de meubles métalliques aux États-Unis (OSHA - IMIS) 11
Tableau 6 : Exposition des travailleurs de neuf établissements de meubles en bois au Québec 13
Tableau 7 : Distribution des travailleurs de neuf établissements de production de meubles en bois du Québec par plages de concentrations 20
Tableau 8 : Distribution des travailleurs de production de meubles en bois du Québec par plages de concentrations 21
Tableau 9 : Sources d'exposition au formaldéhyde et travailleurs concernés 23
Tableau 10 : Pourcentage moyen théorique de travailleurs susceptibles de présenter des effets irritatifs modérés ou sévères aux yeux, au nez et à la gorge selon leur exposition au formaldéhyde 26
Tableau 11 : Nombre théorique de travailleurs du secteur des meubles en bois susceptibles de présenter des effets irritatifs en fonction de la concentration 28
Tableau 12 : Résumé des coûts de modification aux installations de ventilation pour se conformer à la valeur plafond 31
Tableau 13 : Coûts annuels d'opération et d'entretien des systèmes de ventilation 32
Tableau 14 : Nombre de travailleurs et facteurs de protection requis pour la protection respiratoire 33
Tableau 15 : Évaluation des coûts d'abaissement de la valeur plafond reliés à l'utilisation des appareils de protection respiratoire 33
Tableau 16 : Sommaire des coûts de modification, d'opération de ventilation et d'un programme de protection respiratoire 34
Tableau 17 : Pourcentage des coûts par rapport a la marge brute d'exploitation en 2001 35

1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE LA RECHERCHE

Le comité paritaire 3.33.1 de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST), chargé de la révision de l'Annexe 1 du *Règlement sur la santé et la sécurité du travail*, procède aux modifications du règlement par l'établissement de consensus sur chacun des sujets discutés. Dans certains cas, les membres du comité souhaitent disposer d'une meilleure connaissance des impacts de leurs décisions sur la santé et la sécurité des travailleurs, sur la facilité ou la difficulté technique d'entériner ces modifications réglementaires ainsi que sur le contexte socio-économique des industries et des organismes québécois qui sont assujettis à ces modifications. L'abaissement de la valeur d'exposition admissible du formaldéhyde est un de ces cas. La CSST a donc demandé à l'IRSST d'évaluer l'impact socio-économique et sanitaire d'un tel abaissement.

Globalement, le projet vise à évaluer l'impact d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible (VEA) actuelle pour le formaldéhyde, de type plafond située à 2 ppm, vers une VEA plafond ou moyenne pondérée de 1, 0,75 ou 0,3 ppm. Cet objectif comprend une étude des impacts tant sanitaires que socio-économiques. La poursuite de l'objectif global a nécessité la rencontre de divers objectifs spécifiques tels que l'évaluation de l'exposition des travailleurs et l'élaboration de matrices établissement-exposition et emploi-exposition menant à l'évaluation des impacts. L'élaboration des matrices a consisté à élaborer, pour l'ensemble des situations potentielles d'exposition au formaldéhyde, une base de données reliant les caractéristiques professionnelles (secteur, profession, poste) aux procédés et aux données d'exposition disponibles. Cette base de données a servi aux experts à établir les profils quantitatifs d'exposition en fonction des effectifs sous la forme de la matrice secteurs d'activité économique/exposition, et à recueillir les données qualitatives requises pour les travaux des toxicologues et des économistes.

La considération des possibilités de substitution, de modifications de procédés et la description des postes de travail au sein de matrices établissement-exposition et emploi-exposition, ajoutent des éléments aux évaluations d'impacts socio-économique et sanitaire et tentent de dégager les paramètres de la maîtrise de l'exposition.

2. DESCRIPTION DU SECTEUR

Le secteur industriel du meuble a été choisi comme l'un des secteurs prioritaires (groupe 2) sur la base des travaux de l'organisme américain Occupational Safety and Health (OSHA) effectués durant les années 80 pour réviser leur norme d'exposition professionnelle au formaldéhyde. La priorisation de ce secteur a été confirmée par l'étude préliminaire de l'actuelle équipe de recherche (1).

Le tableau 1 présente la place qu'occupe cette industrie dans les différentes classifications économiques en usage.

Tableau 1 : Catégorisation principale de l'industrie du meuble selon trois systèmes de classification d'activité économique en usage en Amérique du Nord

Classification	Code	Libellé
CTI 1980 Canada (2)	26	Industrie du meuble et des articles d'ameublement
SCIAN 1997 Canada (3)	337	Fabrication de meubles et de produits connexes
CAEQ 1984 Québec (4)	26	Industrie du meuble et des articles d'ameublement

Dans la classification québécoise, il faut éliminer les sous-secteurs 2691 (industrie des sommiers et matelas) et 2693 (industrie des meubles de jardin) où le formaldéhyde n'est vraisemblablement pas utilisé ou généré. Par ailleurs, il est d'usage dans l'industrie du meuble de considérer la fabrication d'armoires de cuisine comme faisant partie de cette industrie. Il faudra ainsi inclure le CAEQ 2542 (industrie des armoires et placards de cuisine et des coiffeuses de salle de bain en bois) dans notre définition de l'industrie du meuble.

Les armoires de cuisine sont incluses dans le SCIAN 337. Il faut retrancher le secteur SCIAN 33791 (fabrication de matelas) où le formaldéhyde n'est pas utilisé ou généré. Le secteur de la fabrication des meubles de jardin n'est pas spécifiquement mentionné dans le SCIAN sauf ceux en bois qui sont placés dans le SCIAN 337123.

3. DESCRIPTION DES PROCÉDÉS

Le formaldéhyde dans l'air des locaux de travail des fabricants de l'industrie du meuble en bois vient de trois sources : le collage des pièces de bois ou autres matériaux, les panneaux de bois agglomérés eux-mêmes et les produits de finition. Les fabricants de meubles utilisent surtout des adhésifs en phase aqueuse à base d'acétate de polyvinyle, ne dégageant pas de HCHO. Il pourrait y avoir des fabricants utilisant des colles dégageant du HCHO pour le collage des chants (face étroite du panneau de bois). Certaines usines appliquent des placages sur leurs panneaux de bois agglomérés, ce qui implique l'utilisation de colle à base de HCHO, quoique la plupart achètent leurs panneaux revêtus. L'usinage des panneaux de bois agglomérés (p. ex. MDF) génèrent des niveaux de HCHO très faibles (5). En conséquence, le formaldéhyde vient surtout des opérations de finition, c'est-à-dire de l'application et du séchage des revêtements organiques.

Heltzer indique que les vernis traditionnels au nitrate de cellulose sont utilisés principalement dans la finition des meubles de maison alors que les vernis à catalyse acide (« convertion coatings ») sont utilisés par les fabricants d'armoires de cuisine et les fabricants de meubles de bureau. Les vernis traditionnels ne dégageraient pas de formaldéhyde (6). Les vernis à catalyse acide comportent une résine alkyde mélangée à une résine aminée telle que l'urée-formaldéhyde, catalysée avant l'application avec un acide comme l'acide p-toluènesulfonique. Ce sont donc des revêtements en deux parties. Il existe également des vernis précatalysés fournis en une partie.

McCrillis et coll. affirment que les couches de finition appliquées sur les armoires de cuisine sont toujours constituées de revêtements à catalyse acide. Les bouches-pores peuvent également être de cette nature mais pas toujours alors que les teintures ne sont généralement pas des revêtements à catalyse acide (7). Ces produits dégagent de six à sept fois plus de formaldéhyde lors de la réticulation que la quantité de formaldéhyde libre contenue initialement dans le revêtement (7). Perret et coll. expliquent ce phénomène par la condensation de deux groupes méthylol produisant une molécule de formaldéhyde et une molécule d'eau lors de la réticulation (8). On peut donc affirmer qu'il ne faut pas trop se fier aux faibles quantités de formaldéhyde rapportées dans les fiches signalétiques de peintures et vernis comme indice qu'il y aurait peu de formaldéhyde dégagé lors de l'application et du séchage des revêtements dans l'industrie du meuble.

Le USEPA décrit en détails les procédés d'application des revêtements organiques dans l'industrie étasunienne de fabrication des meubles en bois (9). La majorité des fabricants utiliseraient les vernis traditionnels à base de nitrate de cellulose. Seulement 15 % de l'industrie étasunienne utiliserait les vernis à catalyse acide. Les fabricants québécois de meubles en bois emploieraient majoritairement les vernis à catalyse acide appliqués par pulvérisation conventionnelle (conférence téléphonique avec des professeurs de l'École québécoise du meuble et du bois ouvré (ÉQMBO) de Victoriaville, 2001/12/05). Les autres techniques d'application sont : l'application manuelle de teinture au chiffon ou tampon, la pulvérisation HVLP (High Volume Low Pressure) manuelle ou automatique, la pulvérisation sans air manuelle ou automatique, la pulvérisation sans air à air assisté manuelle ou automatique, l'application automatique au rideau, l'application automatique au trempé et l'application automatique au rouleau. Certaines applications peuvent se faire par pulvérisation à chaud. Le séchage se fait à l'air libre ou dans des fours.

Il existe d'autres revêtements organiques utilisés par les fabricants de meubles en bois. On retrouve notamment les vernis durcissant à la radiation ultraviolette à base de polyester/styrène ou acrylique. Ces revêtements ne dégagent pas de HCHO. Certains fabricants impriment par procédé offset un motif qui ressemble au bois sur les panneaux de bois agglomérés (10). Des revêtements en phase aqueuses ont également fait leur apparition dans l'industrie du meuble mais ne sont pas largement utilisés en raison du problème du soulèvement des fibres du bois causé par l'eau. Il y a cependant des exemples de sociétés aux États-Unis utilisant avec succès les revêtements aqueux (6). Le USEPA considère que la majorité des fabricants de *meubles métalliques* aux États-Unis utilisent une peinture liquide appliquée par pulvérisation suivie d'une cuisson au four (11). Ce genre de revêtement thermodurcissable contient généralement des résines aminées ou phénoliques dégageant du formaldéhyde (12). L'aldéhyde est émis à l'application, à l'étape du séchage superficiel et à la cuisson.

Les étapes de production de meubles sont expliquées sommairement au tableau 2. Y sont également indiqués les titres d'emplois associés à ces étapes ainsi que le titre d'emploi normalisé. Toutes ces étapes ne sont pas présentes dans toutes les usines de production de meubles au Québec. En fait, certaines entreprises ne font que l'ébénisterie, d'autres ne font que la finition soit l'application de teinture et vernis sur des meubles déjà faits alors que d'autres réalisent l'ensemble des opérations

Tableau 2 : Étapes de production de meubles

Étape	Titre d'emploi normalisé	Inclut
Production de meubles		
1- Fabrication du meuble : sablage, ponçage, sciage, assemblage, inspection	Journalier	Sableur, ponceur, scieur, assembleur, monteur, manœuvre, inspecteur de meubles, contrôleur
2- Préparation et application des revêtements : 2.1 préparation des mélanges 2.2 application des apprêts : bouche-pores, scellant, teinture 2.3 application de finition : vernis 2.4 réparation, retouche, sablage entre les couches 2.5 séchage	Coloriste	préposé aux mélanges
	Peintre préparateur	assistant peintre, essuyeur, applicateur de bouche-pores, scellant, teinture
	Peintre finisseur	applicateur de vernis
	Opérateur de finition	sableur, ponceur
	Réparateur	retoucheur, inspecteur de peinture
	Manoeuvre	préposé au robot vernisseur, préposé au chargement / déchargement des meubles vernis
3- Finition : ajout du rembourrage et pose de la quincaillerie	Préposé à la finition / expéditeur	préposé à la quincaillerie, manœuvre, emballeur, expéditeur, cariste
4- Emballage et expédition		
Autres		
Entretien	Préposé à l'entretien	mécanicien, journalier
Supervision	Superviseur	chef d'équipe, contremaître
Bureau	Bureau	personnel de bureau et administratif

Les étapes 2.2 et 2.3 sont généralement réalisées dans une cabine de peinture munie de système d'extraction d'air.

4. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS : DONNÉES DE LITTÉRATURE

Une revue systématique de la littérature scientifique a été réalisée. Elle a été complétée par la consultation des bases de données IMIS (Integrated Management Information System = banques des résultats de mesurage des inspecteurs d'OSHA) et NEDB (National Exposure Data Base = banques des résultats de mesurage des inspecteurs du HSE (Health Safety Executive du Royaume-Uni)).

4.1 Littérature

Le tableau 3 présente les données d'exposition retrouvées dans la littérature à partir de 1980.

Tableau 3 : Données d'exposition dans le secteur de la fabrication des meubles

Niveau (ppm)	Nombre de mesures	Durée par mesure (h)	Commentaires	Référence
usine ventilée : 0,28 – 0,54 0,42 moyenne usine non ventilée : 0,48 – 0,84 0,64 moyenne	14	1	2 usines égyptiennes fabriquant des bureaux et chaises en bois. Pas de mention sur les revêtements. Personnels (métiers non spécifiés). Méthode analytique semblable à IRSST no. 63-1 (1986) ⇒ résultats possiblement surestimés	(13)
Postes fixes : 0,145 ± 0,075 Personnels : 0,103 ± 0,062	> 84	4 – 6	14 petites usines de meubles en panneaux agglomérés. 6 postes fixes par usine. Pas de détails pour les mesurages en personnel. HCHO provient surtout des panneaux.	(14)
Postes fixes : 0,01 – 0,14 Personnels et postes fixes: < 0,02 – 0,12	2 8	6,3 – 6,8 6,3 – 7,3	Fabricant étasunien de meubles rembourrés. Mesurages dans service du rembourrage. Apprêt d'infroissabilité appliqué chez le fournisseur de tissus. Données les plus élevées (0,14 et 0,12) = p. fixes dans l'entrepôt de tissus.	(15)
Collage : 0,15 MG* 2,87 EG** Revêtement : 0,20 MG 2,25 EG	136 86	0,25	Fabricants danois de meubles en bois. 68 personnels dans 38 usines (collage) et 43 personnels dans 28 usines (revêtements à catalyse acide à deux composants). Choix aléatoire des usines, des travailleurs et des périodes de mesurage.	(16)

Niveau (ppm)	Nombre de mesures	Durée par mesure (h)	Commentaires	Référence
Vernisseuse Avant : 0,16 Après : 0,25 Pulvérisation Avant : 0,46 Après : 0,35 Sablage Avant :0,36 Après : 0,40	 11 8 14 13 3 4	0,25	Fabricant suédois de meubles de bureau en bois. Deux vernisseuses à rideau + cabines de peinture. Vernis à catalyse acide à deux composants. Personnels. Choix aléatoire des périodes de mesurage. Mesurage avant et après l'introduction de moyens de maîtrise de l'exposition; un vernis dégageant plus de HCHO a été utilisé après l'introduction des moyens de maîtrise.	(17)
2,33 – 2,67	3	8	Fabricant étasunien d'armoires de cuisine et coiffeuses en bois massif. Pulvérisation de revêtements dans 10 cabines de peinture. 3 postes fixes : 1 près du peintre et dans 2 aires de séchage à 2 et 3 m des cabines.	(18)
1) Peintre pistolet : 0,41 MG;2,1 EG 2) Assistant-peintre 0,43 MG ; 2,0 EG 3) Serveur : 0,23 MG ; 2,3 EG 4) Receveur : 0,32 MG ; 2,2 EG 5) Mélange de peinture : 0,32 MG ; 2,2 EG 6) Assemblage : 0,19 MG ; 1,6 EG 7) Nettoyage : 0,36 MG ; 2,3 EG	1) 168 2) 30 3) 68 4) 90 5) 69 6) 10 7) 7	0,25	19 usines suédoises de fabrication de meubles en bois utilisant des vernis à catalyse acide en 2 parties. Choix aléatoire des périodes échantillonnées en personnel. Application des revêtements par vernisseuse et en cabine. Tous les mesurages incluant les tâches diverses à la finition (n = 464, 0,33 ppm MG ; 2,2 EG)	(19,20)
Moyenne journalière: 0,10 – 1,07 0,32 moyenne Pics : 0,11 – 2,11 0,57 moyenne	132	0,25	Fabricant suédois d'armoires de cuisine et armoires de vêtement en bois massif, placage et panneaux agglomérés. 38 personnels (3 à 4 mesures de 15 min. par travailleurs : peintre, assistant-peintre, serveur, déchargeur, travaux mixtes, ponceur. Vernis à catalyse acide appliqué en cabine et sur vernisseuse.	(21)

Niveau (ppm)	Nombre de mesures	Durée par mesure (h)	Commentaires	Référence
Ambiance : 0,07 - > 2,14 0,27 moyenne Personnel : < 0,04 – 0,56 (tous < 0,3 sauf 2)	? 57	Instantané 8	Fab. étasunien de meubles de maison en panneaux de particules plaqués. 2 vernisseuses + cabine de peinture. Séchage au four. Ventilation locale. Mesurage avec ILD*** pour ambiance. Personnels (le plus élevé à la finition-inspection). Pas de mention de vernis à catalyse acide.	(22)
0,06 ± 0,01	48	3 – 8,5	4 usines torontoises fabriquant des meubles en bois. Pas de mesurage dans l'application des revêtements.	(23)
MG Peintres : 0,82 Assistants : 0,84 Opérateurs : 0,73 Serveurs : 0,82 Receveur avant le four : 1,09 Receveur après le four : 1,39	161	0,25 – 0,5	50 fabricants finlandais de meubles en bois. 6 MG pour postes fixes et personnels confondus : peintres (60 mesures), assistants-peintres (10), opérateurs de machine à rideau (18), serveurs de vernisseuse (14), receveurs avant le four (34), receveurs après le four (14). Les niveaux ont diminués de moitié de 1975-80 à 1983-84. Pire scénario.	(24)

*moyenne géométrique; **écart-type géométrique; *** Instrument à lecture directe

4.2 Données d'exposition de IMIS

La base de données « Integrated Management Information System » (IMIS) contient les données d'exposition professionnelle aux divers contaminants mesurés par les inspecteurs d'OSHA aux États-Unis (25). Cette base comprend notamment les codes d'activité économique américains (SIC USA 1987) (26) mais les professions ne sont pas normalisées. Elle comporte 325 données d'exposition pour le formaldéhyde dans l'industrie du meuble de 1980 à 2001 incluant 100 non décelés. Pour la profession de peintre dans les secteurs où l'on a la certitude qu'il s'agit de meubles en bois (SIC USA : 2511, 2517, 2521 et 2541), il y a 23 données de mesurage dans la zone respiratoire. En éliminant les données non décelées pour lesquelles la base IMIS n'indique pas la période d'intégration des mesures (p. ex. 8h, 15 min.), on retrouve 15 données d'exposition. La base ne permet pas d'identifier clairement les usines mais en utilisant les champs du nombre total d'employé et de la date, il est possible de faire des regroupements par usine. Ainsi les 15 données mentionnées plus haut se rapporteraient à 7 usines distinctes. Le tableau 4 résume ces données.

Tableau 4 : Niveaux de formaldéhyde sur 8h dans la zone respiratoire des peintres dans la fabrication de meubles en bois aux États-Unis (OSHA - IMIS)

Date	Nombre total d'employés dans l'usine	Nombre de mesures	Concentration moyenne (fourchette) en ppm
08 / 1997	3041	2	0,04 (0,032 – 0,05)
06 / 1999	210	2	0,25 (0,3 – 0,19)
10 / 1994	165	2	0,6 (0,6 – 0,6)*
12 / 1989	159	3	0,40 (0,24 – 0,62)
08 / 1998	93	2	0,03 (0,028 – 0,03)
02 / 2001	52	2	0,10 (0,086 – 0,074)
07 / 1992	25	2	0,61 (0,52 – 0,69)

*Les non décelés ayant été éliminés, les concentrations moyennes calculées sont peut-être surestimées dans le cas de cette usine.

Considérant les données issues des secteurs où l'on est pratiquement certain que l'on fabrique des meubles métalliques (SIC USA : 2514 et 2522), il y a 7 données d'exposition au formaldéhyde sur 8h dans la zone respiratoire des peintres dans 3 entreprises. Le tableau 4 présente ces données.

Tableau 5 : Niveaux de formaldéhyde sur 8h dans la zone respiratoire des peintres dans la fabrication de meubles métalliques aux États-Unis (OSHA - IMIS)

Date	Nombre total d'employés dans l'usine	Nombre de mesures	Concentration moyenne (fourchette) en ppm
03 / 1991	1100	3	0,23 (0,092 – 0,51)
10 / 1990	400	1	0,17
12 / 1999	95	2	1,2 (1,1 - 1,2)
05 / 1993	65	1	0,26

4.3 Données d'exposition de NEDB

La base de données « National Exposure Data Base » (NEDB) contient les données d'exposition professionnelle aux divers contaminants mesurés par les inspecteurs du « Health and Safety Executive » au Royaume Uni (27). NEDB ne contient pas de codes d'activité économique mais leur libellé. De la même façon, elle ne contient pas de codes de profession mais le libellé du procédé. NEDB contient 40 données d'exposition au formaldéhyde de 1985 à 1995 dans l'industrie du meuble mais aucune donnée pour les peintres.

4.4 Déterminants de l'exposition

Le premier déterminant de l'exposition des travailleurs au formaldéhyde dans l'industrie du meuble en bois ou en métal est la nature même du revêtement organique utilisé. Pour qu'il y ait dégagement de formaldéhyde, il faut que le revêtement soit à base de résine aminée ou phénolique. Cette dernière n'est utilisée que pour les meubles en métal alors que les résines aminées sont employées dans le meuble en bois et en métal. Le deuxième déterminant est constitué par la ventilation locale ou générale aux différents postes de travail où le formaldéhyde peut se dégager : application des revêtements (cabine de peinture, hotte), séchage superficiel (« flash-off »), étuve ou four, étapes subséquentes (pose de la quincaillerie, inspection, ajustement).

5. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS : MESURES SUR LE TERRAIN PAR L'IRSST

Dans le but d'établir un portrait de l'exposition actuelle des populations de travailleurs exposés ou susceptibles d'être exposés au formaldéhyde dans l'industrie québécoise de la production de meubles en bois, des mesures ont été prises dans 9 usines par une équipe de l'IRSST en collaboration avec les intervenants en santé au travail du réseau public québécois. La liste de ces collaborateurs est donnée à l'appendice 1. Ces mesures reflètent les activités et les conditions d'opération et climatiques existantes au moment de l'intervention.

Seuls les travailleurs du département de peinture ont été évalués lorsque celui-ci était séparé des autres départements de production. Pour l'évaluation des valeurs d'exposition moyenne pondérée sur 8 heures, des prélèvements ont été faits sur des tubes adsorbants imprégnés alors que pour les mesures instantanées, des lectures ont été prises à l'aide d'un analyseur infrarouge suivant les méthodes standard de l'IRSST (28-29).

Cent quatre-vingt-quatorze prélèvements sur tubes ont été faits en zone respiratoire de travailleurs. Deux cent quatre prélèvements sur tubes ont été faits à des postes fixes de travail jugés représentatifs de l'exposition des travailleurs y oeuvrant, pendant la réalisation de tâches spécifiques ou près de sources d'émission où les travailleurs peuvent être appelés à œuvrer dans le cadre de leur travail. Selon nos observations et les discussions avec les travailleurs, les contremaîtres et les responsables santé et sécurité, les échantillonnages faits pour des périodes totales de 3 à 7 heures par jour étaient représentatifs du travail effectué pendant tout le quart de travail. Près de 33 heures d'enregistrement de données ponctuelles d'une minute ont été prises aux postes de travail et aux sources d'émission. La principale limitation de l'instrument est due aux interférences c'est-à-dire à des produits présents en milieu de travail. Ainsi, la présence de solvants a à notre avis créé de l'interférence sur la lecture sans que l'on soit en mesure de la quantifier.

Le tableau 6 présente pour chacun des établissements, les titres d'emploi évalués, les résultats bruts des échantillonnages, la valeur moyenne pondérée sur 8 heures (VEMP) résultante et la valeur maximale obtenue. Les titres d'emploi normalisés sont décrits au tableau 2. Sauf indication contraire, les valeurs sont celles mesurées en zone respiratoire pour les VEMP; les

valeurs maximales ont été obtenues en air ambiant au poste de travail. Il est à noter que ces valeurs d'exposition ne tiennent pas compte du port de protection respiratoire par les travailleurs ni des procédures de sécurité mises en place par les entreprises.

Tableau 6 : Exposition des travailleurs de neuf établissements de meubles en bois au Québec

Titre d'emploi normalisé	Usine	Concentration (ppm)		
		Valeur brute (min)[1]	VEMP[2]	Valeur maximale[3-4]
Fabrication des meubles				
Journalier (sableur, ponceur, scieur, assembleur, monteur, manœuvre, inspecteur, contrôleur)	3	0,14 (440) AA[5]	< 0,3	0,8
	6	0,16 (234) 0,26 (135)	< 0,3	0,3
		0,16 (240+140)[6]	< 0,3	< 0,3
	7	0,10 (384) AA	< 0,3	< 0,3
	9	0,06 (424) AA	< 0,3	< 0,3
		0,07 (250) AA	< 0,3	< 0,3
Application des revêtements				
Coloriste (préposé aux mélanges)	3	0,16 (185) 0,08 (200)	0,35	> 2,0
		0,27 (275) 0,55 (116)		
	4	0,20 (365) AA	< 0,3	0,3
	5	0,16 (261) 0,08 (152)	< 0,3	< 0,3
		0,16 (260) 0,08 (186)	< 0,3	< 0,3
		0,08 (233+195)[6]	< 0,3	< 0,3
	7	0,08 (261+158)[6]	< 0,3	< 0,3
Peintre préparateur (assistant peintre, essuyeur, applicateur de bouche-pores, scellant, teinture)	1	0,06 (140) < 0,13 (74) 0,54 (205)	< 0,3	0,5
		0,16 (245+205)[6]		
		0,36 (130) 0,49 (75) 0,46 (210)	0,32	1,3
		0,27 (161) 0,33 (84) 0,30 (194)		
	2	0,08 (248)	< 0,3	1,9
	3	0,08 (223+192)[6] 0,16 (253+119)[6]	< 0,3	> 2,0

Titre d'emploi normalisé	Usine	Concentration (ppm)		
		Valeur brute (min)[1]	**VEMP[2]**	**Valeur maximale[3-4]**
		0,08 (212)[6] 0,16 (183) 0,08 (260+120)[6]	< 0,3	> 2,0
		0,16 (186) 0,08 (195)	< 0,3	> 2,0
		0,08 (240) 0,16 (127)		
		0,24 (143+43+185)[6]	< 0,3	> 2,0
		0,16 (253+183)[6]	< 0,3	> 2,0
	4	0,24 (236+135)[6]	< 0,3	1,7
	5	0,08 (223) < 0,05 (194)	< 0,3	0,9
		< 0,05 (220+166)[6]	< 0,3	0,9
		< 0,05 (215+165)[6]	< 0,3	0,9
	7	0,23 (233+115)[6]	< 0,3	1,4
		0,19 (249) 0,16 (150)	< 0,3	1,4
		0,18 (248) 0,16 (136)	< 0,3	1,4
	8	0,10 (152)	< 0,3	0,6
		<0,05 (226+190)[6]	< 0,3	0,6
		<0,08 (208+180)[6]	< 0,3	0,6
		<0,06 (226+196)[6]	< 0,3	0,6
		< 0,05 (222+192)[6]	< 0,3	0,6
		<0,05 (247+189)[6]	< 0,3	0,6
	9	0,16 (250+162)[6]	< 0,3	0,6
		0,08 (232+155)[6]	< 0,3	0,6
		0,08 (229+155)[6]	< 0,3	0,6
		0,08 (226) 0,11 (157)	< 0,3	0,6
		0,19 (231) 0,26 (55)	< 0,3	0,6
		0,08 (226)	< 0,3	0,6
		0,16 (206) 0,08 (162)	< 0,3	0,6
Peintre finisseur (applicateur de vernis)	1	0,16 (135) 0,61 (80) 0,31 (147)	0,40	1,3
		0,52 (88) 0,44 (204)		

Titre d'emploi normalisé	Usine	Concentration (ppm)		
		Valeur brute (min)[1]	VEMP[2]	Valeur maximale[3-4]
	2	0,37 (248) 0,33 (184)	0,35	1,9
	3	0,49 (224+202)[6] 0,39 (270) 0,73 (115)	0,44	> 2,0
	4	0,70 (260) 1,22 (135)	0,87	> 2,0
		0,32 (267) 0,42 (131)	0,36	> 2,0
		0,33 (257) 0,42 (135)	0,36	> 2,0
	6	0,36 (235) 0,27 (155)	0,32	> 2,0
		0,73 (255) 0,40 (151)	0,61	> 2,0
		0,93 (250) 0,74 (155)	0,85	> 2,0
	7	0,83 (252) 0,41 (139)	0,68	1,4
		0,67 (244) 0,24 (132)	0,52	1,4
	8	0,16 (170+108)[6]	< 0,3	1,9
	9	0,08 (256) 0,16 (152)	< 0,3	0,6
		0,08 (135) 0,16 (160)	< 0,3	0,6
		0,16 (244) 0,24 (135)	< 0,3	0,6
		0,16 (240) 0,08 (156)	< 0,3	0,6
Opérateur de finition (finisseur, sableur, ponceur)	1	0,41 (110) 0,40 (67) 0,38 (212)	0,35	0,7
		0,32 (245) 0,23 (200)		
	3	0,09 (460)AA 0,09 (422)AA	< 0,3	1,9
	4	0,26 (247)	< 0,3	1,7
	5	0,08 (198) < 0,05 (164)	< 0,3	0,8
	6	0,72 (251) 0,51 (158)	0,64	> 2,0

Titre d'emploi normalisé	Usine	Concentration (ppm)		
		Valeur brute (min)[1]	VEMP[2]	Valeur maximale[3-4]
	7	0,19 (230) 0,16 (151)	< 0,3	0,4
	8	<0,08 (180+55)[6]	< 0,3	0,6
Réparateur (retoucheur, inspecteur)	4	0,41 (218) AA 0,45 (147) AA	0,42	1,7
		0,29 (205) AA 0,41 (137) AA	0,33	1,5
	5	0,16 (262) 0,08 (162)	< 0,3	0,6
		0,25 (195) 0,16 (159)	< 0,3	0,9
	6	0,28 (177) 0,16(162)	< 0,3	1,7
	7	0,16 (242+145)[6]	< 0,3	0,5
		0,08 (238+134)[6]	< 0,3	0,5
	8	0,05 (238+196)[6]	< 0,3	0,6
		<0,05 (262+199)[6]	< 0,3	0,6
		< 0,05 (209+196)[6]	< 0,3	0,6
		0,16 (221) 0,08 (200)	< 0,3	0,6
Manœuvre (préposé au robot, préposé au chargement / déchargement, préposé au séchoir)	3	0,16 (182) 0,20 (230) 0,16 (261) 0,24 (115)	< 0,3	> 2,0
		0,16 (230) 0,41 (60)	< 0,3	> 2,0
	4	0,32 (282)	0,32	1,9
	5	0,31 (282) 0,38 (167)	0,34	0,9
	6	0,69 (217) 0,48 (150)	0,60	> 2,0
	7	0,08 (200+133)[6]	< 0,3	< 0,3
		0,08 (237+134)[6]	< 0,3	< 0,3
		0,11 (228+128)[6]	< 0,3	< 0,3
	8	0,08 (222) 0,16 (167)	< 0,3	0,4
		0,06 (222+231)[6]	< 0,3	0,4
Finition + Expédition				
Préposé (préposé à la quincaillerie, manœuvre, emballeur, expéditeur, cariste)	1	0,59 (87) 0,31(136) 0,24 (95) 0,42 (185)	0,31	0,5

Titre d'emploi normalisé	Usine	Concentration (ppm)		
		Valeur brute (min)[1]	VEMP[2]	Valeur maximale[3-4]
	2	0,12 (190) 0,08 (114)	< 0,3	0,5
	3	0,16 (165+195)[6] 0,08 (270) 0,16 (113)	< 0,3	0,9
		0,08 (420) AA	< 0,3	0,5
	4	0,31 (205) AA 0,36 (140) AA	0,33	1,4
	4	0,42 (206) AA 0,44 (210) AA	0,43	1,8
	6	0,34 (252) 0,40 (141)	0,36	0,4
		0,37 (220) 0,41 (139)	0,39	0,4
		0,36 (415) AA	0,36	0,4
	7	0,16 (241) 0,08 (150)	< 0,3	0,5
	8	<0,06 (229+178)[6]	< 0,3	< 0,3
		0,08 (173+204)[6]	< 0,3	< 0,3
		0,06 (210) 0,08 (203)	< 0,3	< 0,3
	9	< 0,06 (222+154)[6]	< 0,3	< 0,3
Autres				
Journalier (mécanicien, préposé à l'entretien)	2	0,29 (206) 0,12 (188)	< 0,3	0,5
Superviseur (chef d'équipe, contremaître)	4	0,22 (191) 0,24 (145)	< 0,3	> 2,0

[1] Il s'agit de la valeur mesurée pendant la réalisation de la tâche. La durée de l'échantillonnage est indiquée entre parenthèses

[2] Il s'agit de la valeur moyenne pondérée sur 8 heures calculée selon le Règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec

[3] Il s'agit de la valeur maximale mesurée soit par l'instrument à lecture directe soit par l'échantillonnage sur tubes à des sources d'émission. Cette valeur est considérée comme valeur plafond d'exposition

[4] La valeur maximale mesurée a été de 6 ppm dans 3 établissements. Cette valeur doit cependant être interprétée avec prudence puisque la présence de solvants en concentrations importantes à ces postes a pu contribuer à la lecture de l'instrument

[5] AA = air ambiant du poste de travail

[6] Il s'agit d'échantillons pris sur un même travailleur et donnant le même résultat.

6. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS : AUTRES MESURES SUR LE TERRAIN

Dans le cadre de l'élaboration ou de la mise à jour des programmes de santé spécifiques aux établissements (Loi sur la santé et la sécurité du travail, article 113), certaines équipes de santé au travail de CLSC ont procédé au mesurage du formaldéhyde dans l'air des locaux de travail de fabricants de meubles en bois. Dans tous les cas rapportés ci-dessous, le formaldéhyde mesuré provient de l'utilisation de vernis à catalyse acide.

Dans une petite entreprise où il n'y a que cinq travailleurs à la production de meubles dont un peintre, le niveau de formaldéhyde dans la zone respiratoire de ce dernier était de 0,35 mg/m^3 sur 8h le 2001/10/11 et de 1,60 mg/m^3 sur 4h le 2001/10/16.

Dans une autre petite entreprise où il y a douze travailleurs à la production, certains employés opèrent des presses pour panneaux de bois. Ces derniers sont ensuite assemblés pour réaliser du mobilier scolaire. Une farine de bois, mélangée à une résine mélamine-formaldéhyde et autres ingrédients, est compressée pour réaliser les panneaux. En 1998, une mesure dans la zone respiratoire d'un opérateur était de 0,71 mg/m^3 sur 4½ h alors qu'un autre opérateur était exposé à 0,72 mg/m^3 sur la même période de temps. En 1999, un niveau de 0,3 mg/m^3 a été mesuré chez un troisième opérateur de presse sur une période de 2¾ h. L'auteur attribue cette diminution au fait que les fenêtres et portes étaient ouvertes, ce qui n'était pas le cas lors des mesurages précédents. Le 2001/01/10 un quatrième opérateur de presse était exposé à 0,4 mg/m^3 sur 3½ h alors qu'un cinquième opérateur était exposé à 0,65 mg/m^3 pendant la même période de temps. Les portes et fenêtres étaient closes lors de ce dernier mesurage. Dans tous les cas, le technicien du CLSC considère que l'exposition sur 8h est égale à celle des périodes échantillonnées.

Trois peintres au pistolet et un sableur chez un fabriquant de meubles employant 75 travailleurs à la production ont fait l'objet de mesurages sur une période de 8¾ h dans leur zone respiratoire en février 2002. Les niveaux de formaldéhyde rapportés sont les suivants : 0,4 mg/m^3 (peintre 1), 0,85 mg/m^3 (peintre 2), 0,5 mg/m^3 (peintre 3), 0,1 mg/m^3 (sableur).

En avril 2002, dans une entreprise employant 190 travailleurs à la production, plusieurs peintres et inspecteurs-réparateurs ont fait l'objet de mesurage de formaldéhyde dans leur zone respiratoire sur des périodes de temps couvrant 70 % de leur journée de travail. Les niveaux d'exposition des peintres de scellant étaient de 0,8 mg/m^3 pour la finition de tables et 0,7 mg/m^3 pour la finition de chaises. Pour les peintres de laque, ils étaient de 0,3 mg/m^3 (tables) et 0,7 mg/m^3 (chaises). Les niveaux étaient de 0,2 mg/m^3 (tables) et 0,3 mg/m^3 (chaises) pour les inspecteurs-réparateurs de scellant.

La dernière entreprise emploie 900 travailleurs à la production dans quatre usines dont trois ont fait l'objet de mesurage de formaldéhyde en 2001 et 2002 dans la zone respiratoire des employés de la finition. Dans la première usine, la moyenne arithmétique de 16 travailleurs était de 0,5 mg/m^3 (minimum : < 0,09 mg/m^3, maximum : 1,1 mg/m^3). Les mesures sur 15 min. dans cette usine variaient de 1,0 à 1,3 mg/m^3. Dans la deuxième usine, la moyenne de 21 travailleurs et couvrant plus de 40 % des journées de travail était de 0,4 mg/m^3 (minimum : 0,2 mg/m^3,

maximum : 0,64 mg/m^3). Dans la troisième usine la moyenne de 11 mesures concernant autant de travailleurs et couvrant plus de 40 % des journées de travail était égale à 0,3 mg/m^3 (minimum : < 0,09 mg/m^3, maximum : 0,6 mg/m^3).

7. MATRICES D'EXPOSITION

7.1 Discussion concernant les données de la littérature et celles de l'équipe terrain

Les concentrations moyennes de formaldéhyde pondérées sur 8h sont généralement en deçà de 0,3 ppm pour les travailleurs québécois échantillonnés sauf pour les peintres-finisseurs dont l'exposition peut aller jusqu'à 0,9 ppm (voir le tableau 6). Le portrait est différent en ce qui concerne les pics de concentration qui peuvent dépasser 2 ppm dans la majorité des professions.

L'étude la plus récente provenant de la littérature (16) où 43 mesurages aléatoires personnels de 15 minutes dans 28 usines sont rapportés, la moyenne géométrique était de 0,2 ppm avec un écart-type géométrique de 2,25. Cela signifie que 69 % des mesures étaient en deçà de 0,3 ppm, 26 % entre 0,3 et 0,75, 3 % entre 0,75 et 1,0 ainsi que 2 % entre 1,0 et 2,0 ppm, le pourcentage dépassant 2 ppm étant négligeable. Une autre étude scandinave effectuée quelques années plus tôt rapporte une moyenne géométrique de 0,33 ppm avec un écart-type géométrique de 2,2 pour 464 mesurages aléatoires personnels de 15 minutes dans 19 usines. Ces données signifient que 45 % des mesures étaient inférieures à 0,3 ppm, 40 % entre 0,3 et 0,75, 7 % entre 0,75 et 1,0, 7 % entre 1,0 et 2,0 ainsi que 1 % au delà de 2,0 ppm (19, 20). Si l'on considèrent les données rapportée encore plus tôt par Phiha et coll. (24) pour la période allant de 1975 à 1984, les niveaux de formaldéhyde semblent avoir diminué de façon appréciable en passant des années 70 aux années 90. Les peintres sont dans tous les cas les plus exposés au formaldéhyde parmi les travailleurs de la finition.

Quatre études ont rapporté des concentrations très faibles de formaldéhyde (13, 14, 15, 23). Le formaldéhyde ne provenait cependant pas de l'application de vernis mais du bois (panneaux agglomérés). L'étude de Newman et Clark dans une usine américaine se démarque de toutes les autres car elle rapporte des niveaux moyens de formaldéhyde sur 8h élevés, dépassant 2 ppm. Les auteurs ont noté des déficiences dans la ventilation et les méthodes de travail notamment l'absence d'un système d'aspiration dans l'aire de séchage des meubles et le fait que les peintres se plaçaient parfois entre la pièce à peindre et le système d'aspiration de la cabine à peinture (18). Cette dernière pratique a été notée dans l'usine québécoise numéro 1.

Il n'est pas possible de se prononcer sur la représentativité des mesures obtenues chez les neuf fabricants par rapport à l'ensemble des fabricants de meubles québécois car l'on ne connait pas la proportion des entreprises utilisant les vernis à catalyse acide. La seule information obtenue à cet effet est celle des professeurs de l'ÉQMBO affirmant que la majorité des fabricants de meubles utilisent de tels revêtements.

Les données issues de IMIS et NEDB sont difficilement interprétables en raison du manque d'information sur la nature des revêtements mis en œuvre. Une information intéressante provient cependant de IMIS où l'application de revêtements sur des meubles en métal a mis en évidence une exposition dépassant 1 ppm de formaldéhyde lors d'un mesurage récent (voir tableau 5). Aucune usine québécoise de meuble en métal n'a été visitée dans le cadre de la présente recherche.

Tant la littérature que les données sur le terrain au Québec s'accordent pour identifier le métier de peintre comme la profession la plus exposée au formaldéhyde de façon chronique et aiguë dans l'industrie du meuble en bois.

7.2 Élaboration des matrices

A partir des données d'exposition, du nombre de titulaires par poste et de la description des tâches fournis par les établissements, des matrices d'exposition sur 8 heures et plafond ont été construites pour ces neuf établissements. Elles sont présentées au tableau 7.

Tableau 7 : Distribution des travailleurs de neuf établissements de production de meubles en bois du Québec par plages de concentrations

Poste	Plage de concentrations (ppm)					Total
	< 0,3	0,3 – 0,75	0,75 – 1,0	1,0 – 2,0	> 2,0	
VALEUR D'EXPOSITION MOYENNE PONDÉRÉE – 8 HEURES						
Journalier - fabrication	680	0	0	0	0	680
Coloriste	10	1	0	0	0	11
Peintre préparateur	82	4	0	0	0	86
Peintre finisseur	9	11	4	0	0	24
Opérateur de finition	83	3	0	0	0	86
Réparateur	36	3	0	0	0	39
Manoeuvre	18	5	0	0	0	23
Préposé finition / expéditeur	137	21	0	0	0	158
Préposé à l'entretien	13	0	0	0	0	13
Superviseur	11	1	0	0	0	12
Bureau	192	0	0	0	0	192
TOTAL	1271	49	4	0	0	1324

Poste	Plage de concentrations (ppm)					Total
	< 0,3	0,3 – 0,75	0,75 – 1,0	1,0 – 2,0	> 2,0	
VALEUR PLAFOND						
Journalier - fabrication	666	5	9	0	0	680
Coloriste	9	1	0	0	1	11
Peintre préparateur	0	25	29	19	13	86
Peintre finisseur	0	4	0	12	8	24
Opérateur de finition	0	68	0	16	2	86
Réparateur	0	32	3	4	0	39
Manoeuvre	5	9	4	0	5	23
Préposé finition / expéditeur	107	32	7	12	0	158
Préposé à l'entretien	3	9	0	0	1	13
Superviseur	3	0	3	4	2	12
Bureau	192	0	0	0	0	192
TOTAL	985	185	55	67	32	1324

Selon les données de Statistique Canada sur les Industries manufacturières (30), il y avait au Québec en 2001, 891 établissements des secteurs de la fabrication de meubles de maison / armoires de cuisine en bois (SCIAN 33711), fabrication d'autres meubles de maison en bois (SCIAN 337123) et fabrication de meubles de bureau en bois y compris les boiseries architecturales (SCIAN 337213) avec un total de 19 928 travailleurs. Au tableau 8, les travailleurs ont été répartis proportionnellement dans les plages d'exposition, en se basant sur l'hypothèse que la situation observée dans les établissements évalués est représentative de celle vécue dans l'ensemble des établissements.

Tableau 8 : Distribution des travailleurs de production de meubles en bois du Québec par plages de concentrations

Poste	Plage de concentrations (ppm)					Total
	< 0,3	0,3 – 0,75	0,75 – 1,0	1,0 – 2,0	> 2,0	
VALEUR D'EXPOSITION MOYENNE PONDÉRÉE – 8 HEURES						
Journalier - fabrication	10 235	0	0	0	0	10 235
Coloriste	150	15	0	0	0	165
Peintre préparateur	1 234	60	0	0	0	1 294
Peintre	135	166	60	0	0	361

Poste	Plage de concentrations (ppm)					Total
	< 0,3	0,3 – 0,75	0,75 – 1,0	1,0 – 2,0	> 2,0	
finisseur						
Opérateur de finition	1 250	45	0	0	0	1 295
Réparateur	542	45	0	0	0	587
Manoeuvre	271	75	0	0	0	346
Préposé finition / expéditeur	2 062	316	0	0	0	2 378
Préposé à l'entretien	196	0	0	0	0	196
Superviseur	166	15	0	0	0	181
Bureau	2 890	0	0	0	0	2 890
TOTAL	19 131	737	60	0	0	19 928
VALEUR PLAFOND						
Journalier - fabrication	10 025	75	135	0	0	10 235
Coloriste	135	15	0	0	15	165
Peintre préparateur	0	376	437	286	195	1 294
Peintre finisseur	0	60	0	181	120	361
Opérateur de finition	0	1 024	0	241	30	1 295
Réparateur	0	482	45	60	0	587
Manoeuvre	75	135	60	0	75	346
Préposé finition / expéditeur	1 611	482	105	180	0	2 378
Préposé à l'entretien	45	136	0	0	15	196
Superviseur	45	0	45	61	30	181
Bureau	2 890	0	0	0	0	2 890
TOTAL	14 826	2 786	827	1 009	480	19 928

L'étude statistique faite à l'aide du logiciel Industrial Hygiene Statistics de l'AIHA donne pour les peintres finisseurs une distribution lognormale avec une valeur moyenne arithmétique estimée à 0,435 ppm pour la VEMP et des pourcentages de dépassement de 65 % pour une norme de 0,3 ppm, de 11 % pour une norme de 0,75 ppm, de 4 % pour une norme de 1,0 ppm et de 0,16 % pour celle de 2,0 ppm. Dans la matrice globale proposée, ces pourcentages sont respectivement de 62 % à 0,3 ppm, 16 % à 0,75 ppm et nuls pour les deux autres valeurs.

Pour les autres types d'emploi, une telle étude statistique n'a pas été possible.

8. SOURCES D'EXPOSITION

Les résultats des échantillonnages et les observations permettent de ressortir les tâches et les situations susceptibles d'exposer les travailleurs au formaldéhyde. Le tableau 9 présente ces sources d'exposition et les travailleurs les plus susceptibles d'être exposés.

Tableau 9 : Sources d'exposition au formaldéhyde et travailleurs concernés

Sources d'exposition	Travailleurs exposés[1]	Concentrations maximales mesurées (ppm)
TÂCHES À RISQUE D'EXPOSITION AU FORMALDÉHYDE		
Préparation des peintures	Coloriste, peintre	> 2,0
Application de revêtements	Peintre finisseur / peintre préparateur	> 2,0
Sablage entre les couches de vernis	Opérateur de finition	> 2,0
Déchargement des meubles (sortie du four)	Manoeuvre	> 2,0
Réparation des imperfections	Réparateur	1,7
Pose de la quincaillerie	Préposé finition / expédition	1,8
Nettoyage des pistolets	Travailleurs du département	Non mesuré
SOURCES D'ÉMISSION		
Entreposage des vernis	Coloriste, peintre	Non mesuré
Cabines de peinture	Travailleurs du département	> 2,0
Séchage des meubles	Travailleurs du département	> 2,0
Entreposage des meubles	Travailleurs du département	1,8

[1] Aux travailleurs attitrés à ces tâches, il faut ajouter le personnel d'entretien (mécaniciens, électriciens) et les contremaîtres

L'exposition des travailleurs de fabrication de meubles au formaldéhyde est variable. Notre étude a permis de ressortir certains facteurs déterminants de l'exposition tels que :

- L'efficacité des cabines de peinture
- L'efficacité de la ventilation générale notamment dans la zone de séchage et d'entreposage des meubles vernis
- La proximité des autres postes de travail des cabines de peinture
- Le temps de séchage.

9. CORRECTIFS ET PRÉVENTION

La maîtrise de l'exposition au formaldéhyde dans les usines de fabrication de meubles en bois peut être réalisée par des moyens techniques et organisationnels. Trois éléments techniques peuvent être envisagés soit la substitution, les ventilations générale et locale et les équipements de protection individuelle.

9.1 Substitution du formaldéhyde

À l'encontre des fabricants québécois et scandinaves, les fabricants de meubles en bois de plusieurs pays n'utilisent pas majoritairement les vernis à catalyse acide dégageant du formaldéhyde. On a mentionné plus haut le cas de nos voisins du Sud qui emploient surtout les vernis traditionnels à base de nitrate de cellulose mais il faut également souligner les cas du Royaume-Uni où l'on n'utilise que 47 % en poids de tels vernis, l'Allemagne de l'Ouest (10 %) et l'Italie (2 %) (19). Les vernis au nitrate de cellulose ont un pourcentage en poids très élevé de solvants (≈ 80 %) (9). Ceci entraîne des émissions importantes dans l'environnement. Ils continuent néanmoins à être employés en raison de leur facilité d'utilisation et de leur apparence exceptionnelle. Les revêtements à catalyse acide ont un pourcentage de solvants plus faible (≈ 65 %). Ils sont également plus résistants que les vernis traditionnels.

Wicks et coll. indiquent que des revêtements en phase aqueuse existent pour l'industrie du meuble en bois (p. ex. nitrate de cellulose émulsifié, acrylique). L'eau ayant tendance à soulever de façon excessive les fibres du bois, ce genre de revêtement ne serait pas encore très populaire. Il faut d'ailleurs utiliser une couche d'apprêt à base de solvants pour éliminer le redressement des fibres de bois (10). Les autres solutions de remplacement incluent les revêtements à séchage ultraviolet, les polyesters, les polyuréthanes et les peintures en poudre. Les revêtements à séchage ultraviolet contiennent des acrylates, des diluants réactifs et des photo-initiateurs. Ils ne renferment pratiquement pas de composés volatils. Ce genre de revêtement est surtout utile pour les pièces de bois planes car toutes les parties peintes doivent être exposées à la radiation. Les objets à géométrie complexe sont donc à éviter. Les polyesters se présentent sous deux types : les polyesters dissous dans le styrène, qui agit comme solvant et réactif, et les acrylique-polyesters. Les polyesters durcissent par réaction catalytique ou par exposition à une radiation (p. ex. UV). Ces revêtements exigent l'utilisation d'une salle blanche pour contrôler les poussières parce qu'ils sont difficiles à retoucher. Les polyuréthanes, excellents revêtements du point de vue technique comme les polyesters, contiennent des isocyanates qui sont des irritants et sensibilisants pulmonaires. Comme les polyesters, les polyuréthanes exigent une salle blanche pour leur mise en œuvre à cause de la difficulté de faire des retouches (9). Les peintures en poudre exigent un équipement spécialisé incluant la pulvérisation électrostatique et ne s'appliquent pour l'instant que sur des pièces de bois planes (31).

Le remplacement des revêtements à catalyse acide n'est pas simple. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte incluant la taille de l'entreprise, le genre de meubles produits, les coûts du remplacement des équipements, la clientèle desservie, la finition désirée, la réglementation environnementale en vigueur (p. ex. COV) sans oublier les risques toxiques et sécuritaires éventuels des revêtements substitutifs. Du point de vue de la santé et de la sécurité du travail de

façon générale et du point de vue technique et financier pour les PME, les revêtements en phase aqueuse seraient la meilleure solution. Marshall et Fields présentent d'ailleurs plusieurs études de cas récentes où des fabricants étasuniens de meubles en bois utilisent désormais des revêtements en phase aqueuse (31).

9.2 Organisation du travail et ventilation

Dans la majorité des cas, les fabricants de meubles utilisent déjà des cabines de peinture pour l'application des revêtements par pulvérisation pneumatique. Ces systèmes d'aspiration sont généralement conçus pour maîtriser les vapeurs de solvants et les brouillards de peinture et vernis. Si la cabine de peinture a été installée selon les règles de l'art de la ventilation industrielle et est utilisée correctement, les niveaux de formaldéhyde auxquels les peintres sont exposés devraient être faibles. Notre expérience nous indique cependant que la procédure de travail n'est pas toujours adéquate. À titre d'exemple, il arrive que le peintre place un meuble de telle sorte qu'il pulvérise le revêtement dans le sens contraire de la direction de l'aspiration du brouillard de peinture. En conséquence il se fait envelopper par le brouillard. Cette pratique avait été rapportée par Newman et Klein dans une usine américaine (18). À d'autres occasions le peintre peut placer une pièce sur une table et tourner lui-même autour de celle-ci lors de la pulvérisation de sorte qu'il se retrouve à certains moments entre la pièce à pulvériser et le fond de la cabine où se dirige le brouillard aspiré.

Les mesures sur le terrain nous ont également permis d'observer que le lieu et le temps de séchage des meubles était important. Lors du séchage, le formaldéhyde continue à se libérer. Si les travailleurs ont à manipuler ou à être dans l'environnement des meubles qui ne sont pas complètement secs et que la ventilation est insuffisante, ils sont alors exposés au formaldéhyde.

9.3 Équipements de protection individuelle

Pour une usine étasunienne de meuble, où les niveaux de formaldéhyde en postes fixes près des cabines de peinture étaient supérieurs à 2 ppm sur 8h, NIOSH a recommandé le port d'un appareil respiratoire autonome ou d'un respirateur à cartouche filtrante combinée (18).

À cause des effets irritatifs du formaldéhyde, les équipements de protection individuelle doivent protéger les voies respiratoires et les yeux (32).

- Pour des concentrations supérieures à 20 ppm, qui est la concentration de danger immédiat pour la vie et la santé (DIVS), le port d'un appareil respiratoire autonome est obligatoire
- Pour les concentrations de formaldéhyde en deçà de 20 ppm et jusqu'à la valeur admissible, le port d'un masque complet à cartouches filtrantes est recommandé. Selon le facteur de protection nécessaire, un masque complet (facteur de protection de 100) ou un demi-masque (facteur de protection de 10) est utilisé. Si un demi-masque est utilisé, il faut également porter des lunettes protectrices étanches.

10. IMPACTS SUR LA SANTÉ

Afin de déterminer les impacts sur la santé d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde, il a été nécessaire d'établir la relation entre l'exposition au formaldéhyde dans divers milieux de travail au Québec et l'apparition d'effets sur la santé à partir des données existantes dans la littérature scientifique puis de l'appliquer au secteur concerné.

10.1 Établissement de la relation entre l'exposition et les effets sur la santé

Les effets choisis dans le cadre de cette analyse sont les effets les plus précoces, c'est-à-dire que ce sont les premiers effets à apparaître. Il s'agit donc des effets irritatifs des muqueuses et des voies respiratoires supérieures, principalement les yeux, le nez et la gorge. Les autres effets causés par le formaldéhyde sont décrits en détail dans l'annexe 1 du rapport final, mais ne seront pas abordés dans cette partie.

Après un choix critique de la littérature appropriée à l'aide de critères préétablis et l'extraction des données rapportées dans les différents articles retenus (dont les durées d'exposition varient de 90 secondes à 3 heures), la relation entre l'exposition au formaldéhyde et l'apparition d'effets irritatifs a été établie. L'analyse de l'ensemble de ces données a permis de calculer le pourcentage moyen de réponse attribuable à une exposition au formaldéhyde (pourcentage de travailleurs susceptibles de présenter des irritations) selon le site d'effet irritatif considéré (irritation des yeux, du nez ou de la gorge) et la concentration d'exposition (0 ppm, 0,3 ppm, 0,75 ppm, 1,0 ppm et 2,0 ppm). Les effets ont été catégorisés selon leur sévérité : effet modéré (supportable ou gênant) ou effet sévère. La démarche suivie pour la construction du tableau des résultats est détaillée dans l'annexe 1 du rapport final.

Le tableau 10 présente le pourcentage théorique moyen de personnes susceptibles de présenter des irritations pour les diverses concentrations d'exposition considérées, déterminé à partir de l'ensemble des études de la littérature avec un degré de confiance suffisant pour être retenues et à partir des régressions linéaires effectuées.

Tableau 10 : Pourcentage moyen théorique de travailleurs susceptibles de présenter des effets irritatifs modérés ou sévères aux yeux, au nez et à la gorge selon leur exposition au formaldéhyde

Effet considéré	**Pourcentage de travailleurs**				
	0-–< 0,3 ppm	**0,3–0,75 ppm**	**0,75–1,0 ppm**	**1,0- <2,0 ppm**	**≥ 2,0 ppm**
Irritation des yeux – effet modéré	0 %	0 %	6,3 %	10.1 %	14,9 %
Irritation des yeux – effet sévère	0 %	0 %	0 %	0,8 %	1,9 %
Irritation du nez – effet modéré	0 %	0 %	1,6 %	4,5 %	12,4 %
Irritation de gorge – effet modéré	0 %	0 %	1,6 %	4,6 %	12,6 %

Ce tableau indique donc que, par exemple, parmi les travailleurs exposés à une concentration en formaldéhyde entre 0,75 ppm et 1,0 ppm, 6,3 % d'entre eux sont susceptibles de présenter des irritations modérées des yeux, aucun ne serait susceptible de présenter des irritations sévères des yeux et 1,6 % d'entre eux pourraient présenter des irritations modérées du nez ou de la gorge.

Cependant, il est à noter que :

- Les classes d'exposition les plus faibles présentent un pourcentage de réponse nul attribuable à l'exposition au formaldéhyde puisque le bruit de fond (fréquence d'apparitions des irritations observées en milieu contrôlé à la concentration zéro) a été retranché (33,34). Tous les pourcentages mentionnés dans le tableau se réfèrent exclusivement aux effets irritatifs attribuables au formaldéhyde
- L'apparition des effets n'est pas reliée à la durée de l'exposition. Les effets apparaissent rapidement après le début de l'exposition, mais ne s'aggravent pas avec le temps. Il ne semble pas y avoir d'effet cumulatif de l'exposition pour les effets irritatifs car les études de la littérature présentent des pourcentages de réponse semblables et des effets de sévérité semblable pour des durées d'exposition variant entre 90 secondes et 3 heures (35)
- Les effets mentionnés dans le tableau sont des effets réversibles et cessent peu de temps après l'arrêt de l'exposition
- La fréquence d'apparition des effets modérés augmente lorsque la concentration d'exposition s'intensifie
- La catégorie "effets modérés" regroupe à la fois les effets modérés supportables et les effets modérés gênants, mais, en majorité, les effets rapportés dans la littérature, dans le cadre d'études contrôlées, pour des concentrations allant jusqu'à 3 ppm sont plutôt supportables que gênants
- Les effets sévères apparaissent pour des concentrations élevées, supérieures à 1 ppm. Ces effets ne se manifestent que pour les yeux, et en très faibles proportions. Ils n'apparaissent pas pour le nez et la gorge pour des concentrations inférieures à 3 ppm
- Les données de la littérature permettent d'estimer le nombre de travailleurs susceptibles de présenter un effet donné, mais ne permettent pas de dire si ce sont les mêmes travailleurs qui auront tendance à présenter les différents symptômes, ou si ce sont des travailleurs différents.

Les données de la littérature montrent que la durée de l'exposition modifie très peu le pourcentage de personnes présentant des symptômes et le degré de sévérité de ces symptômes de type irritatif, du moins pour des expositions allant de 90 secondes à 3 heures à la même concentration. Les pourcentages de réponse ont été appliqués indifféremment aux matrices d'exposition moyenne pondérée et plafonds (se référer à l'annexe 1 du rapport final pour plus de détails). Les durées d'exposition les plus courtes rapportées dans les études de la littérature sont de 90 secondes (35), ce qui est du même ordre que les valeurs plafonds effectivement mesurées par l'instrument à lecture directe soit des moyennes sur une minute.

Ainsi, la relation dose-réponse établie sur la base des données de la littérature (tableau 10) peut être appliquée aux matrices d'exposition du secteur de fabrication de meubles en bois (tableau 8) et permet d'estimer le nombre moyen théorique de travailleurs susceptibles de présenter des effets irritatifs.

10.2 Application de la relation au secteur de la fabrication des meubles

Le tableau 11 rapporte le nombre de travailleurs susceptibles de présenter des effets irritatifs en fonction de la concentration d'exposition moyenne pondérée sur 8 heures et plafond.

Tableau 11 : Nombre théorique de travailleurs du secteur des meubles en bois susceptibles de présenter des effets irritatifs en fonction de la concentration

	Nombre de travailleurs				
Concentration de formaldéhyde	**0 - < 0,3 ppm**	**0,3 - < 0,75 ppm**	**0,75 - < 1,0 ppm**	**1,0 - < 2,0 ppm**	**≥ 2,0 ppm**
Effet considéré	**VEMP**				
Irritation des yeux – effet modéré	0	0	4	0	0
Irritation des yeux – effet sévère	0	0	0	0	0
Irritation du nez – effet modéré	0	0	1	0	0
Irritation de gorge – effet modéré	0	0	1	0	0
Effet considéré	**PLAFOND**				
Irritation des yeux – effet modéré	0	0	52	102	72
Irritation des yeux – effet sévère	0	0	0	8	9
Irritation du nez – effet modéré	0	0	13	45	60
Irritation de gorge – effet modéré	0	0	13	46	60

Pour l'ensemble des 19 928 travailleurs de ce secteur, ces résultats signifient que :

- Pour les valeurs VEMP 8 heures :
  - Un à quatre travailleurs seraient susceptibles de présenter des effets irritatifs modérés dus à une exposition au formaldéhyde. Aucun n'aurait d'effets irritatifs sévères aux yeux.
- Pour les valeurs plafonds :
  - Le respect de la norme actuelle (2 ppm plafond) permettrait d'éviter des effets irritatifs potentiels modérés aux yeux, au nez et à la gorge pour 60 à 72 travailleurs et des effets irritatifs sévères aux yeux pour 9 travailleurs, en supposant que les travailleurs sont réellement exposés à de telles valeurs
  - Un abaissement de la norme à 1,0 ppm permettrait d'éviter des effets potentiels modérés aux yeux pour 45 à 106 autres travailleurs et des effets sévères aux yeux pour 8 autres travailleurs
  - Un abaissement de la norme à 0,75 ppm permettrait d'éviter des effets modérés pour 13 à 52 autres travailleurs pour un total de 118 à 226 travailleurs selon le site d'irritation (58 à 154 en excluant ceux potentiellement exposés actuellement à plus de 2,0 ppm) soit 1,1 % (0,7 %) de la population concernée

- Pour des concentrations inférieures à 0,75 ppm, aucun effet irritatif modéré ou sévère ne serait attribuable au formaldéhyde, mais ceci n'exclut pas qu'il pourrait y avoir des effets irritatifs légers. Aucun abaissement de norme d'exposition à des valeurs inférieures à 0,75 ppm ne pourra donc réduire ces effets qui constituent le bruit de fond.

Le nombre de travailleurs susceptibles de présenter des effets irritatifs attribuables à une exposition au formaldéhyde est toujours plus important lorsque l'on considère les valeurs plafonds. L'indicateur d'effet basé sur les valeurs plafonds est, de ce fait, meilleur indicateur que celui basé sur la moyenne puisque le risque est proportionnel à la concentration et non pas à la durée de l'exposition et que la moyenne intègre les courtes périodes d'exposition à des concentrations élevées. Les valeurs plafonds ne sont que des estimés et rien ne permet d'affirmer que les travailleurs sont réellement exposés à de telles valeurs (les valeurs plafonds ne prennent pas en compte l'éventuelle protection respiratoire des travailleurs). Le nombre de personnes susceptibles de présenter des effets est donc compris entre celui déterminé en appliquant les valeurs moyennes et celui déterminé en appliquant les valeurs plafonds, bien que le risque soit sûrement plus proche de celui estimé par les valeurs plafonds.

11. IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

11.1 Coûts potentiels

11.1.1 Substitution ou modification des procédés

Tel qu'indiqué à la section 9.1, la substitution est une possibilité pour le remplacement des revêtements à catalyse acide. Cependant, l'évaluation de l'impact socio-économique est complexe parce qu'elle requerrait l'évaluation d'autres contaminants que le formaldéhyde tels que les solvants, les acrylates, les isocyanates. Chacun de ces produits introduit ses propres risques qui devraient être quantifiés et comparés à ceux du formaldéhyde en termes d'avantages et de désavantages socio-économiques et sur la santé des travailleurs. Par contre, il existe des revêtements à l'eau, d'emblée pratiquement sans danger. Selon des fabricants, la qualité du fini en serait diminuée.

11.1.2 Organisation du travail

La section 9.2 suggère deux aspects de prévention, reliés à l'organisation du travail, soit la procédure d'application par le peintre dans la chambre de peinture ainsi que la durée et la localisation du séchage. La formation du peintre sur le fonctionnement de la ventilation dans la chambre de peinture pourrait être ajoutée à la formation sur la protection respiratoire, l'objectif étant d'inciter le peintre à travailler de façon à ne pas se placer entre l'objet à vernir et la sortie d'air. La possibilité de réaliser l'isolation de la chambre de peinture et de séchage du reste de l'usine, par des murs par exemple, est extrêmement variable d'un établissement à l'autre, et nos informations ne sont pas suffisamment détaillées pour y parvenir. Ces solutions ne devraient pas susciter une charge économique importante.

11.1.3 Ventilation

L'appendice 2 contient le rapport fait par la firme Beaulier Inc sur l'évaluation des coûts associés à la mise en place d'un système de ventilation. Ce rapport fait part de cinq concepts de ventilation des salles de projection ouverte à écoulement horizontal (chambres ou enceintes de peinture) et de leurs coûts de capitalisation à ± 40%.

- Abaissement de la VEMP

Les expositions au formaldéhyde pondérées sur huit heures, associées aux opérations de vernissage à catalyse acide dans les industries du meuble, se situent, en très grande partie, entre 0,3 et 0,75 ppm (Tableau 8). Il n'y aurait donc pas de coût associé à un abaissement de VEMP jusqu'à 0,75 ppm, à condition que les peintres finisseurs reçoivent une formation sur la procédure d'application du vernis à l'intérieur de la chambre de peinture.

Il y aurait cependant des coûts associés à un abaissement de la VEMP à 0,3 ppm. Pour s'y conformer, les entreprises devront augmenter la ventilation d'extraction de la cabine de peinture et augmenter la ventilation générale de la zone de séchage. Idéalement, l'installation d'une séparation physique entre les opérations de peinture et de séchage et les autres opérations (sciage, assemblage, finition, etc) permettrait d'éliminer l'exposition des autres travailleurs. Mais il resterait toujours la nécessité de maintenir une ventilation suffisante dans ces locaux, restreints par rapport à l'ensemble de l'usine, pour diminuer l'exposition des peintres, manœuvres et employés de l'entretien qui doivent pénétrer à l'intérieur de ces locaux ou installations, à un niveau inférieur à 0,3 ppm.

Étant donné que les usines de meubles qui effectuent des opérations de peinture ont déjà des installations et que l'état actuel de ces installations est extrêmement variable parmi 1243 établissements, nous n'avons pas réussi à établir un scénario représentatif de ce milieu qui permette de chiffrer ces modifications des procédures et ces mises à niveau de la performance des chambres au niveau suggéré par Beaulier, de 1 400 L/s. Mais il nous semble que, dans la plupart des cas, ces modifications ne devraient pas nécessiter des investissements démesurés.

- Abaissement de la valeur plafond

Pour ce qui est d'un abaissement de la valeur plafond, l'augmentation de la ventilation du débit de 1 400 L/s, qui devrait permettre de satisfaire la valeur actuelle de 2 ppm, à des débits de 3 000 L/s pour diminuer les concentrations sous 1 ppm, de 3 500 L/s pour 0,75 ppm et de 4 200 L/s pour 0,3 ppm entraînerait des installations et des coûts d'opération qui sont rapportés aux tableaux 12 et 13.

Tableau 12 : Résumé des coûts de modification aux installations de ventilation pour se conformer à la valeur plafond

	Coût ($)		
Valeur plafond (ppm)	**0,3**	**0,75**	**1,0**
Par établissement [1]	31 500	15 750	12 000
Total pour le secteur [2-3]	28 066 500	14 033 250	10 692 000

[1] On suppose une installation (enceinte de vernissage et local de séchage) par usine, ce qui est une sous-évaluation que nous ne pouvons pas chiffrer dans l'état actuel de nos connaissances.
[2] On suppose que les 891 établissements feraient du vernissage à catalyse acide, ce qui est une surévaluation que nous ne pouvons pas chiffrer dans l'état actuel de nos connaissances
[3] Ces coûts proviennent des coûts de la ventilation pour atteindre la valeur plafond ciblée moins les coûts de ventilation pour se conformer à la valeur actuelle de 2,0 ppm. La capitalisation a été établie à 7,50$/L/s (au lieu de 15$ L/s pour une installation neuve), en tenant compte des installations existantes.

Tableau 13 : Coûts annuels d'opération et d'entretien des systèmes de ventilation

	Coûts annuels d'opération et d'entretien ($)[1]		
	0,3	0,75	1,0
Valeur d'exposition moyenne pondéré (VEMP)			
Par installation [2]	3 174		
Total pour le secteur [3]	2 828 034		
Valeur plafond (P)[4]			
Par installation	9 521	4 761	3 627
Total pour le secteur	8 483 211	4 242 051	3 231 657

[1] Pour calculer les coûts d'opération et d'entretien, nous avons utilisé les hypothèses de l'appendice 2 avec les ajouts suivants: pour le nombre de degré-jour par année, nous avons pris la moyenne des valeurs de l'appendice 2 (en excluant les villes de Gagnon, Shefferville et Inukjuak); l'horaire de travail est d'un quart de huit heures, 5 jours/semaine; le rendement thermique d'un feu direct au gaz; l'utilisation d'un ventilateur d'évacuation (1 moteur), en marche 7 heures par jour, 220 jours par année; coût d'électricité à 0,08$/kWh. Nous n'avons pas tenu compte des coûts de refroidissement de l'air.

[2] On suppose une installation (enceinte de vernissage et local de séchage) par usine, ce qui est une sous-évaluation que nous ne pouvons pas chiffrer dans l'état actuel de nos connaissances

[3] On suppose que les 891 établissements feraient du vernissage à catalyse acide, ce qui est une surévaluation que nous ne pouvons pas chiffrer dans l'état actuel de nos connaissances

[4] Ces coûts proviennent des coûts de la ventilation pour atteindre la valeur plafond ciblée moins les coûts de ventilation pour se conformer à la valeur actuelle de 2,0 ppm. La capitalisation a été établie à 7,50$/L/s (au lieu de 15$ L/s pour une installation neuve), en tenant compte des installations existantes.

11.1.4 Protection respiratoire

Malgré l'installation des moyens de prévention, un certain nombre de travailleurs devront, à l'occasion, œuvrer à l'intérieur de la chambre de peinture ou de l'espace de séchage. Ces travailleurs auront alors besoin de protection respiratoire. En se basant sur les résultats des évaluations en situation réelle de travail et rapportées dans la littérature, sur la description des sources d'émission et sur les calculs détaillés décrits à l'annexe 2 du rapport final, les hypothèses suivantes ont permis d'estimer les coûts de la protection respiratoire :

- La concentration maximale de 6 ppm a été mesurée à l'intérieur d'une chambre de peinture et il ne semble pas y avoir de situations prévisibles où la DIVS pourrait être atteinte
- Les travailleurs qui sont exposés à plus de 1 ppm en valeur plafond sont probablement ceux qui doivent travailler à l'intérieur de la chambre de peinture ou de l'espace de séchage
- Les travailleurs exposés entre 0,3 et 1,0 ppm seraient ramenés à des expositions inférieures à 0,3 ppm par les moyens de formation, de modifications aux installations et de ventilations locale et générale.

Le tableau 14 indique le nombre de travailleurs qui devraient être habilités à utiliser des appareils de protection respiratoire ayant des facteurs de protection de 10 ou de 100. Deux composantes doivent être pris en considération dans l'évaluation des coûts soit d'une part, l'implantation et l'opération du programme de protection respiratoire et, d'autre part, l'acquisition, l'entretien et la

gestion des appareils de protection respiratoire. Tous ces coûts dépendent du nombre de travailleurs qui utiliseraient la protection respiratoire. Le scénario choisi implique que les pièces faciales soient d'usage personnel et que l'usure nécessitera, à chaque année, le remplacement de 25 % des pièces faciales. Le tableau 15 résume les coûts pour l'acquisition et l'entretien de l'équipement en faisant l'hypothèse qu'un seul appareil à épuration d'air avec masque complet par salle serait approprié.

Tableau 14 : Nombre de travailleurs et facteurs de protection requis pour la protection respiratoire

Valeur plafond (ppm)	Nombre de travailleurs	
	Facteur de protection : 100	Facteur de protection : 10
0,3	480	1 009
0,75		1 489
1,0		1 489
2,0		480

Tableau 15 : Évaluation des coûts d'abaissement de la valeur plafond reliés à l'utilisation des appareils de protection respiratoire

Valeur plafond	Coût direct ($ / an)		Coût indirect (h/an)	
	Année initiale	Année subséquente	Année initiale	Année subséquente
Programme de protection respiratoire[1]				
0,3	976 784	150 389	107 208	95 296
0,75 et 1,0	976 784	150 389	107 208	95 296
2	314 880	48 480	34 560	30 720
Acquisition et entretien de l'équipement[1]				
0,3	451 088	265 868		
0,75 et 1,0	309 888	242 868		
2	99 760	78 160		
Total[2]				
0,3	1 013 232	289 617	72 648	64 576
0,75 et 1,0	872 032	266 617	72 648	64 7576

[1] Un exemple du calcul détaillé de ces coûts est présenté à l'annexe 2 du rapport principal du projet

[2] Ces coûts proviennent des coûts de l'établissement du programme et de l'acquisition et entretien de l'équipement pour atteindre la valeur plafond ciblée moins les coûts pour se conformer à la valeur actuelle de 2,0 ppm.

11.2 Avantages potentiels

La section des impacts sur la santé a identifié des effets potentiels de l'exposition lorsque les valeurs d'exposition admissibles sont inférieures à 2,0 ppm. Étant donné l'absence d'indicateurs ou d'informations sur la durée et la fréquence de temps perdu, sur la diminution de productivité ou sur tout autre effet des irritations, nous avons posé l'hypothèse que chaque incident d'irritation causerait un retrait du travail de 15 minutes. Si ce retrait du poste de travail survenait une fois par semaine pour une des trois irritations, (tel que proposé à l'annexe 2 du rapport final suite à des observations informelles recueillies dans ces industries), l'abaissement de la valeur plafond à 1,0 et 0,75 ppm permettrait d'éviter des coûts de 34 450 à 62 075 $, et de 38 675$ à 76 375 $ respectivement (sur la base d'un salaire horaire de 25$) en incluant les travailleurs actuellement exposés à plus de 2,0 ppm. Ces montants sont respectivement de 14 950 à 22 750 $ et de 19 175 à 52 650 $ si on exclut ces travailleurs. Pour une concentration d'exposition inférieure à 0,75 ppm, aucun effet irritatif modéré ne serait attribuable au formaldéhyde donc aucun gain pour la santé des travailleurs.

11.3 Détermination d'un seuil d'impact majeur

Le tableau 16 présente le sommaire des coûts résultant d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible du formaldéhyde et le tableau 17 la performance économique des industries de ce secteur pour l'année 2001.

Tableau 16 : Sommaire des coûts de modification, d'opération de ventilation et d'un programme de protection respiratoire

Coût ($)[1,2]	0,3 ppm	0,75 ppm	1,0 ppm
Valeur d'exposition moyenne pondérée			
Total	2 828 034		
An	2 828 034		
Valeur plafond			
Total	40 048 144	21 609 534	17 257 890
An	14 734 722	8 158 766	6 604 194

[1] D'après les informations recueillies auprès d'Industrie Canada (http://strategis.ic.gc.ca), le salaire horaire a la production du secteur du meuble est d'environ 16$/ h.

[2] Les coûts de modifications, d'opération de ventilation et du PPR ont été annualisés sur 10 ans à un taux de 10 %.

Tableau 17 : Pourcentage des coûts par rapport a la marge brute d'exploitation en 2001

Coût	Valeur plafond		
	0,3 ppm	0,75 ppm	1,0 ppm
Par An	14 734 722	8 158 766	6 604 194
Marge brute d'exploitation	800 053 000	800 053 000	800 053 000
% / marge	1,84 %	1,02 %	0,82 %

La valeur des livraisons manufacturières pour le secteur de la fabrication de meubles et de produits connexes est de 2 462 532 000 en 2001 au Québec. Les coûts d'exploitation (salaires et traitements- 912 614 000 $, coût des matières premières, des fournitures et des marchandises – 1 762 347 000 $, et coût du combustible et de l'électricité- 45 546 000 $) sont de 2 720 507 000$. Donc la marge brute d'exploitation est de (3 995 966 000 - 2 720 507 000) = 1 275 459 000 $.

Par conséquent, une baisse de la norme augmenterait les coûts de 14 734 722$ pour une valeur plafond de 0,3 ppm, de 8 158 766$ pour 0,75 ppm et de 6 604 194$ pour atteindre 1 ppm valeur plafond. En valeur 8 heures l'augmentation serait de 2 828 034 $ pour 0,3 ppm.

La performance de ce secteur s'explique principalement du fait que plusieurs établissements ont tiré profit de l'Accord de libre-échange et du contexte économique favorable pour accroître leurs livraisons. Les données de l'Enquête annuelle des manufactures (EAM) de 1997 indiquent que les livraisons manufacturières pour le secteur du meuble se sont chiffrées à environ 6,5 milliards de dollars en 1997 en hausse de 15,8 % par rapport à 1996 au Canada. Environ 82 % de ces livraisons provenaient de fabricants du Québec et de l'Ontario. Les industries du meubles de bureau sont au cœur de ces excellents résultats. Les livraisons de meubles de bureau ont pratiquement atteint les 2 milliards de dollars en 1997 au Canada, soit un accroissement de 31 % par rapport à 1996.

Ainsi, l'effet financier annuel d'un abaissement des normes d'exposition (8 heures et plafond) n'apparaît pas comme susceptible d'avoir un impact majeur sur la rentabilité du secteur. Cependant il est intéressant de noter que depuis 2003, le dollar canadien progresse par rapport au dollar US, ce qui doit sûrement ralentir les exportations vers les Etats-Unis qui est le principal pays de destination. Nous ne disposons pas actuellement de données nous permettant de chiffrer cet impact.

12. CONCLUSIONS

Les principales conclusions de l'étude de l'exposition au formaldéhyde des travailleurs de la fabrication de meubles en bois sont :

- Les entreprises de la fabrication de meubles sont regroupées dans le code 26 de la CAEQ. Sur la base de l'étude des procédés, les sous-secteurs 2691 (industrie des sommiers et matelas) et 2693 (industrie des meubles de jardin) ont été exclus mais le sous-secteur CAEQ 2542 (industrie des armoires et placard de cuisine et des coiffeuses de salle de bain en bois) a été ajouté

- L'exposition actuelle, telle que mesurée par l'IRSST, répartit le nombre de travailleurs dans la matrice secteur d'activité économique exposition de la façon suivante :

VEA (ppm)	<0,3	0,3-0,75	0,75-1,0	1,0-2,0	>2,0
Exposition moyenne pondérée	30 435	1 176	96	0	0
Plafond	23 586	4 453	1 318	1 603	767

- Tant les résultats de la littérature scientifique et des bases de données que les mesures de l'IRSST identifient le métier de peintre finisseur comme la profession la plus exposée au formaldéhyde dans l'industrie du meuble en bois. Une formation adéquate des peintres tant au niveau de la manipulation des produits et du pistolet qu'au port de protection respiratoire est recommandée

- Les principaux déterminants de l'exposition sont l'efficacité des cabines de peinture, l'efficacité de la ventilation générale notamment dans la zone de séchage et d'entreposage des meubles vernis, la proximité des autres postes de travail des cabines de peinture et le temps de séchage

- En exposition moyenne pondérée, la très grande majorité des travailleurs sont exposés en bas de 0,3 ppm (96%) avec un certain nombre entre 0,3 et 0,75 ppm, soit 3,7%. Donc, un abaissement de valeur d'exposition admissible, pondérée sur huit heures, jusqu'à 1,0 ppm ne causerait pas d'augmentation des coûts d'opération; aucun gain pour la santé ne serait réalisé. Un abaissement à 0,75 ppm permettrait d'éviter des irritations modérées pour 1 à 4 travailleurs. Pour une concentration d'exposition inférieure à 0,75 ppm, aucun effet irritatif modéré ne serait attribuable au formaldéhyde, donc aucun gain pour la santé ne serait réalisé

- Le respect de la norme actuelle (2 ppm plafond) permettrait d'éviter des effets irritatifs potentiels modérés aux yeux, au nez et à la gorge pour 60 à 72 travailleurs et des effets irritatifs sévères aux yeux pour 9 travailleurs, en supposant que les travailleurs sont réellement exposés à de telles valeurs

- Un abaissement de la valeur plafond à 1,0 ppm éliminerait les effets irritatifs sévères aux yeux pour 8 autres travailleurs et les effets modérés pour 45 à 102 autres travailleurs selon le site d'irritation. Un abaissement à 0,75 ppm protégerait 13 à 52 autres travailleurs. Pour une concentration d'exposition inférieure à 0,75 ppm, aucun effet irritatif modéré ne serait attribuable au formaldéhyde, donc aucun gain pour la santé ne serait réalisé

- Les coûts de modifications et d'opération de ventilation et du programme de protection respiratoire, annualisés sur 10 ans à un taux de 10 %, sont respectivement de 14 734 722 $, 8 158 766 $ et 6 604 194 $ pour l'abaissement de la valeur plafond à 0,3, 0,75 ou 1,0 ppm,. Ceci représente respectivement, 1,84%, 1,02% et 0,82% de la marge brute d'exploitation

- Les coûts de modifications et d'opération de ventilation et du programme de protection respiratoire, annualisés sur 10 ans à un taux de 10 %, sont respectivement de 17 600 000 $, 11 700 000 $ et 9 500 000 $ pour l'abaissement de la valeur plafond à 0,3, 0,75 ou 1,0 ppm,. Ceci représente respectivement, 1,96%, 1, 14% et 0,94% de la marge brute d'exploitation

- Bien que les coûts d'implantation des correctifs soient élevés au départ, l'impact financier annuel d'un abaissement des normes d'exposition (8 heures et plafond), basé sur les coûts annualisés, apparaît comme susceptible de n'avoir qu'un impact minime sur la rentabilité du secteur. Cette charge économique est cependant d'autant plus importante que la valeur admissible diminue; l'abaissement à une valeur limite plafond de 0,3 ppm est sans contredit la plus contraignante économiquement. Il faut également noter que ces coûts n'incluent pas ceux nécessaires au respect de la norme plafond actuelle.

13. RÉFÉRENCES

1. Perrault G., Goyer N., Hébert F., Duguay P., Ostiguy C., Truchon G., Baril M., Gratton L., Arcan R., Gérin M., Bégin D., Bonvalot Y., Carrier G., Lefebvre P. et Pallage S.: Étude préliminaire sur l'évaluation de l'impact d'un abaissement des valeurs d'exposition admissibles pour le formaldéhyde. Rapport R-257, IRSST. (2000).
2. Statistique Canada : Classification type des industries – 1980. Statistique Canada, Division des normes, Ottawa. (1980).
3. Statistique Canada : Système de classification des industries de l'Amérique du Nord : Canada 1997. Statistique Canada, Division des normes, Ottawa. (1998).
4. Bureau de la statistique du Québec : Classification des activités économiques du Québec, Les Publications du Québec. (1984).
5. Health and Safety Executive : Medium Density Fibreboard (MDF) - Hazard assessment document EH75/1. HSE Books, Sudbury, Suffolk, UK. (1999).
6. Heltzer J.M. : Wood Furniture Finishing. In: Industrial Pollution Prevention Handbook, pp. 791-807. H.M. Freeman, Ed. McGraw-Hill, Inc., New York, NY. (1995).
7. McCrillis R.C., Howard E.M., Guo Z., Krebs K.A., Fortman R. and Lao H.C.: Characterization of Curing Emissions from Conversion Varnishes. Journal of the Air & Waste Management Association 49:70-75. (1999).
8. Perret D., Shenk O., Bilat D. and Maillard J.-M. : Exposition aux solvants organiques et au formaldéhyde lors de l'imprégnation de parquets: étude en cabine d'expérimentation et sur le terrain. Chimia 47(6):250-251. (1993)
9. USEPA : Control of Volatile Organic Compound Emissions from Wood Furniture Manufacturing Operations. United States Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Office of Air Quality Planning and Standards, Emission Standards Division (EPA-453/R-96-007; NTIS No. PB-96178769), Research Triangle Park, NC. (1996).
10. Wicks Z.W., Jones F.N. and Pappas S.P. : Organic Coatings: Science and Technology. Volume II: Applications, Properties, and Performance. John Wiley & Sons, New York. (1994).
11. USEPA : Preliminary Industry Characterization:Surface Coating of Metal Furniture. United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Emission Standards Division (MD-13), Coatings and Consumer Products Group, Washington, DC. (1998).
12. Wicks Z.W., Jones F.N.and Pappas S.P. : Organic Coatings: Science and Technology. Volume I: Film Formation, Components, and Appearance. John Wiley & Sons, New York. (1992).
13. Abdel Hameed A.A., Khoder M.I.and Farag S.A. : Organic dust and gaseous contaminants at wood working shops. Journal of Environmental Monitoring 2(1):73-76. (2000).
14. Dingle P.and Tapsell P. : Cabinet-makers: exposure to formaldehyde vapours. Journal of Occupational Health and Safety - Australia and New Zeland 15(3):249-252. (1999).
15. Marlow D.A.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 94-0309-2514, Homecrest Industries Inc., Wadena, Minnesota. United States Department of Health and Human

Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1995).

16. Vinzents P.and Laursen B. : A national cross-sectional study of the working environment in the Danish wood and furniture industry - Air pollution and noise. Annals of Occupational Hygiene 37(1):25-34. (1993).
17. Rosén G., Andersson I.M.and Juringe L. : Reduction of exposure to solvents and formaldehyde in surface-coating operations in the woodworking industry. Annals of Occupational Hygiene 34(3):293-303. (1990).
18. Newman M.and Klein M. : Health Hazard Evaluation Report HETA 88-068-2077, Schmidt Cabinet Company, New Salisbury, Indiana. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1990).
19. Rosén G. : Visualization methods and emission studies as aids in the control of exposure to airborne contaminants. Arbete och Hälsa (1):1-38. (1989).
20. Rosén G. and Andersson I.M. : Exposure to Formaldehyde and Solvents During Industrial Surface Treatment with Acid-curing Paints. Arbete och Hälsa (4):1-24. (1986).
21. Alexandersson R. and Hedenstierna G. : Respiratory Hazards Associated with Exposure to Formaldehyde and Solvents in Acid-Curing Paints. Archives of Environmental Health 43(3):222-227. (1988).
22. Wallingford K.M.and McAuley D.B. : Health Hazard Evaluation Report No. HETA-82-354-1897, Kemper-Tappan, Richmond, Indiana. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH.. (1988).
23. Sass-Kortsak A.M., Hollness D.L., Pilger C.W. and Nethercott J.R. : Wood Dust and Formladehyde Exposures in the Cabinet-Making Industry. American Industrial Hygiene Association Journal 47(12):747-753. (1986).
24. Priha E., Riipinen H. and Korhonen K. : Exposure to Formaldehyde and Solvents in Finnish Furniture Factories in 1975-1984. Annals of Occupational Hygiene 30(3):289-294. (1986).
25. Stewart P.A.and Rice C. : A Source of Exposure Data for Occupational Epidemiology Studies. Applied Occupational and Environmental Hygiene 5(6):359-363. (1990).
26. Executive Office of the President - Office of Management and Budget : Standard Industrial Classification Manual. National Technical Information Service, Springfield, VA. (1987).
27. Burns D.K. and Beaumont P.L. : The HSE national exposure database - (NEDB). Annals of Occupational Hygiene 33(1):1-14. (1989).
28. IRSST, Direction des Opérations : Guide technique : Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail, 7e édition. (2000).
29. IRSST, Direction des Opérations : Analyse du formaldéhyde dans l'air – méthode 295-1 (1995) ; Étalonnage d'un instrument à lecture directe ayant un système de détection par spectroscopie photoacoustique infrarouge - Méthode 39-A. (2000).
30. Statistique Canada : Industries manufacturières du Canada : niveaux national et provincial. Statistique Canada, no. 31-203-XPB, Ottawa. (2003).

31. Marshall A.M. and Fields J.L. : Case Studies: Low-VOC/HAP Wood Furniture Coatings. United States Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory (EPA-600/R-00-043), Research Triangle Park, NC. (2000).

32. Lara J. et Venne M. : Guide pratique de protection respiratoire. Rapport R-319, IRSST. 2002.

33. Kulle T.J., Sauder L.R., Hebel J.R. and Green D.J. : "Formaldehyde Dose-response in Healthy Nonsmokers." JAPCA 37: 919-924. (1987).

34. Weber-Tschopp A., Fischer T. and Grandjean E.: "Irritating Effects of Formaldehyde on Men." International Archives of Occupational and Environmental Health 39: 207-218. (1977).

35. Witek T.J., Schachter E.N., Tosun T. and Leaderer B.P. : "An Evalutation of Respiratory Effects Following Exposure to 2.0 ppm Formaldehyde in Asthmatics: Lung Function, Symptoms, and Airway Reactivity." Archives of Environmental Health 42(4): 230-237. (1987).

APPENDICE 1 : LISTE DES COLLABORATEURS DU RÉSEAU PUBLIC DE SANTÉ AU TRAVAIL DANS LE CADRE DES VISITES EN ENTREPRISE

Robert Alie, hygiéniste du travail, CLSC des Maskoutains
Daniel Boudreault, technicien en hygiène du travail, CLSC Centre de santé Paul-Gilbert
Bernadette Bourque, technicienne en hygiène du travail, CLSC Cloutier-du-Rivage
Gilles Champagne, technicien en hygiène du travail, CLSC Frontenac
Raymond Lacoursière, technicien en hygiène du travail, CLSC Côte-des-Neiges
Luc Roberge, hygiéniste du travail, CLSC Frontenac
Sylvain Rousseau, CLSC Cloutier-Durivage
Serge Simard, technicien en hygiène du travail, CLSC Cloutier-du-Rivage
François Viens, technicien en hygiène du travail, CLSC des Maskoutains

APPENDICE 2 : ESTIME DES COUTS DE VENTILATION

IRSST
Diminution des concentrations de formaldéhyde
Estimation des coûts d'opération de la ventilation

Beaulier inc., dossier 4147
3 novembre 2003

Alain Turcotte, ing.

Beaulier inc.
1400 Marie-Victorin, suite 203, St-Bruno, Qc., J3V 6B9
Tél : 450-441-9100, Fax : 450-441-9113

TABLE DES MATIÈRES

Section Page
1.0 MANDAT 3
2.0 MÉTHDOLOGIE 3
3.0 RÉSMUMÉ DES DÉBITS REQUIS 3
Industrie du meuble (vernissage) 5
4.0 COÛT D'OPÉRATION 5
4.1 Coût de chauffage de l'air neuf à ±30 5
4.2 Coût de refroidissement à ±30 7
4.2.1 Puissance de refroidissment de l'air neuf 8
4.2.2 Puissance de refroidissment du local 8
4.3 Coût de la maintenance à ±30 9
4.4 Coût d'opération des moteurs à ±30 9

1.0 MANDAT

L'étude a pour mandat de fournir des paramètres simplifiés de calcul des coûts d'opération des systèmes de ventilation climatisation tenant compte des modifications projetées à la réglementation concernant le formaldéhyde.

Il s'agit donc d'établir une technique simplifiée d'estimation des coûts d'énergie et d'entretien des systèmes aérauliques (chauffage, ventilation, climatisation) nécessaires pour contrôler la concentration de formaldéhyde dans les secteurs suivants :

- Laboratoires de pathologie
- Salles de thanatologie
- Usines utilisant du formaldéhyde

2.0 MÉTHODOLOGIE

La méthodologie utilisée est comme suit:

1. Établir les concepts théoriques de ventilation selon les concentrations de formaldéhyde à ne pas dépasser;
2. Déterminer les débits requis pour chacun des concepts;
3. Faire des schémas conceptuels de chacun des concepts de ventilation;
4. Déterminer le coût de capitalisation à ±40% pour chaque concept en $/(Table);
5. Produire un rapport.

3.0 RÉSUMÉ DES DÉBITS REQUIS

Industrie du meuble (vernissage)

Tableau 1 : Débit requis[1]

Exposition	Ventilation
VEMP O,3	Ventilations locales dans une salle de projection ouverte à écoulement horizontal de 1 400 L/s.
P2	Ventilations locales dans une salle de projection ouverte à écoulement horizontal de 1 400 L/s.
P1	Ventilations locales dans une salle de projection ouverte à écoulement horizontal de 3 000 L/s.
P0,75	Ventilations locales dans une salle de projection ouverte à écoulement horizontal de 3 500 L/s.
P0,30	Ventilations locales dans une salle de projection ouverte à

Exposition	Ventilation
	écoulement horizontal de 4 200 L/s.

[1] Valeurs approximatives

4.0 COÛT D'OPÉRATION

4.1 Coût de chauffage de l'air neuf à ±30%

Le coût de chauffage de l'air neuf se calcul selon l'équation 1 :

$$Co = \frac{15{,}18 \times Q_v \times C \times DJ \times NJO \times f_a \times f_b}{\eta \times E} \qquad (1)$$

où :

$$15{,}18 : \left(1{,}23 \frac{kJ}{m^3 \cdot °C} \times 3600 \frac{s}{h} \times \frac{m^3}{1000L} \times \frac{24h}{j} \times \frac{sem}{7j} = 15{,}18 \frac{kJ \cdot s \cdot sem}{°C \cdot j^2 \cdot L} \right)$$

Co : Coût annuel ($/an)

Qv : Débit d'air neuf (L/s)

NJO : Nombre de jours ouvrables par semaine (j/sem)

DJ : Nombre de degré-jour par année (°C-j/an) de la localité tel qu'indiqué au tableau 4.1

f_a : Facteur de correction pour la température de soufflage tel qu'indiqué au tableau 4.2

f_b : Facteur d'utilisation pour le quart de travail (T_n+T_j+T_s) tel qu'indiqué au tableau 4.3

C : Coût du gaz naturel ($/m³), propane ($/m³)

E : Valeur calorifique du gaz naturel (38 000 kJ/m³)[1] propane (95 000 kJ/m³)[2], électricité (3 600 kJ/kWh), huile (38 760 kJ/L)

η : Rendement thermique de combustion du gaz/électricité/huile. Pour un feu indirect au gaz, le rendement est d'environ 0,7 et pour un feu direct il est d'environ 0,95. Pour l'électricité, il est de 1. Pour un feu indirect à l'huile, il est de 0.8.

[1] Valeur moyenne

[2] m³ de gaz (1 L de liquide évaporé = 0,27 m³ de gaz)

Tableau 4.1 : Degrés-jours (°C j/aii) pour diverses localités du Québec

Chicoutimi	5400	Montréal	4500
Dolbeau	6000	Noranda	5900
Drummondville	4700	Québec	5200
Gagnon	7500	Rivière-du-Loup	5500
Gaspé	5400	Shefferville	8300
Havre St-Pierre	6000	Sept-Îles	6200
Hull	4600	Sherbrooke	4600
Inukjuak	9000	Sorel	4700
Joliette	4900	Témiscaming	5100
La Malbaie	5300	Trois-Rivières	5000
Mégantic	5300	Val d'Or	6200
Mont-Joli	5500		

Pour autres localités, interpolez deux localités.

Tableau 4.2 : Facteur de correctiou pour la température d'alimentation de l'air

Tal(°C)	f_a	Tal(°C)	f_a
16	0,89	22	1,24
17	0,95	23	1,31
18	1,00	24	1,38
19	1,06	25	1,46
20	1,12	26	1,54
21	1,18		

Tableau 4.3 : Facteur d'utilisation pour le quart de travail

Quart de nuit	0,40
Quart de jour	0,25
Quart de soir	0,35

Exemple

Une usine de meuble compte trois salles de vernissage. On veut maintenir la concentration à une valeur plafond de 1.0 ppm. Quel est le coût du chauffage de l'air neuf ?

Selon le tableau 3.3, le débit requis est de 3 000 L/s/salle, donc un total de 9 000 L/s. Si l'air est chauffé au gaz naturel, à feu direct, à un coût de 0.35$/m², qu'il fonctionne sur deux quarts de travail (jour et soir), cinq jours par semaine, que la température d'alimentation est de 20°C et que l'usine est située à Sept-Îles, le coût de chauffage de l'air neuf serait de :

$$Co = \frac{15{,}18 \times 9000 \times 0{,}35 \times 6200 \times 5 \times 1{,}12 \times 0{,}65}{0{,}95 \times 38000}$$

$$Co = 29892{,}91\$ / an$$

4.2 Coût de refroidissement à ±30%

Le coût de refroidissement se calcul selon l'équation 2:

$$Co = \frac{24 \times DJ \times P \times C}{(T_{ac} - 18) \times COP}$$

où:
Co : Coût annuel ($/an)
24 : 24 h/J
P : Puissance du refroidisseur (kW[3]). Voir équations 3 et 4
C : Coût de l'électricité ($/kWh)
DJ : Nombre de degrés-jour de refroidissement par année (°C-j/an) de la localité tel qu'indiqué au tableau 4.1.
Tac : Température extérieure de calcul selon la localité tel qu'indiqué au tableau 4.4.
COP : Coefficient de performance (kW/kW). Pour fin de calcul, prendre 3.5 kW/kW

[3] 3.412 BTU/h = 1 W

Tableau 4.4 : Degrés-jour de refroidissement

Localité	Degrés-jours (°C-j)	Température extérieure de calcul (°C)
Montréal	327	30
Québec	141	28
Sept-Îles	11	24
Sherbrooke	193	29

4.2.1 Puissance de refroidissement de l'air neuf

La puissance approximative de refroidissement de l'air neuf est selon l'équation suivante:

$$P = 83{,}4 \times Q$$

où:

P : Puissance de refroidissement (W)

Q : Débit d'air neuf (L/s)

83.4 : Constante (kJ/m³)

L'équation (3) est basée sur les prémisses suivantes:

1. Température extérieure bulbe sec de 30°C
2. Température extérieure bulbe humide de 23 °C
3. Température ambiante de 23 °C
4. Humidité relative intérieure de 50%

4.2.2 Puissance de refroidissement du local

La puissance de refroidissement du local est selon l'équation suivante:

$$P = 90 \times S$$

où:

P : Puissance de refroidissement (W)

S : Superficie de plancher (m²)

90 : Constante (W/m²)

4.3 Coût de la maintenance à ±30%

BOMA[4] a sondé ses membres sur les coûts de la maintenance des équipements de CVAC[5]. Le résultat du sondage a donné une valeur médiane de0.24$/pi² (2.58$/m²).

En CVAC standard, le débit d'air total est d'environ 1.0 pcm/pi² (5.1 L/(s-m²)). Donc, on peut dire que le coût de maintenance serait de 0.24$/pcm (0.51$/(L/s)). Donc, l'équation finale se lit comme suit.

$$Co = Q \times 0{,}51$$

où:

Co : Coût annuel ($/an)
Q : Débit d'air total (L/s)
0.51 : Coût de la maintenance ($/(L/s))

4.4 Coût d'opération des moteurs à ±30%

Chaque ventilateur a un moteur. Ce moteur coûte quelque chose à opérer. La formule mathématique suivante permet de l'évaluer :

$$Co = \frac{\Delta P \times Q_{VI}}{\eta \times 10^6} \times OP \times JA \times C$$

où:

- ΔP : Perte de charge aéraulique du réseau (Pa). Pour fin d'estimation, utilisez les valeurs suivantes : 750 Pa pour une centrale d'air neuf ou une unité de traitement d'air et 250 Pa pour un ventilateur d'évacuation.
- Q_{VI} : débit total d'évacuation du ventilateur (L/s)
- OP : nombre d'heure d'opération par jour (h/j)
- JA : nombre de jour d'opération par année (j/an)
- C : coût de l'électricité ($/kWh)
- η : rendement combiné du moteur, du ventilateur et de la transmission de la courroie (n.d.). Pour fin d'estimation, utilisez 0,7.
- 10^6 : transformation de L en m³ et de Watts en kiloWatts

[4] Building Owners and Managers Association
[5] Chauffage/Ventilation/Air Climatisé